

**DISEÑO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN GENÉRICO DE LA LOGÍSTICA  
DIRECTA E INVERSA DEL PLÁSTICO PET ENFOCADO A LA MITIGACIÓN DE  
IMPACTOS NEGATIVOS EN LOS MINORISTAS**

**STEFANY CONDE SÁNCHEZ**



**UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BARRANQUILLA**

**2017**

**DISEÑO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN GENÉRICO DE LA LOGÍSTICA  
DIRECTA E INVERSA DEL PLÁSTICO PET ENFOCADO A LA MITIGACIÓN DE  
IMPACTOS NEGATIVOS EN LOS MINORISTAS**

**STEFANY CONDE SÁNCHEZ**

**Trabajo de Grado para optar al título**

**Ingeniera Industrial**

**Asesor**

**Ing. Thalia Obredor Baldovino, MSc**

**Co-Asesor**

**Ing. Luz Borrero López. MSc**



**UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**BARRANQUILLA**

**2017**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

### **Agradecimientos**

En primer lugar le agradezco a Dios por haber sido mi guía y mi apoyo a lo largo de mi carrera, por brindarme una vida llena de aprendizajes y sobre todo de felicidad.

Le doy gracias a mis padres por los valores que me han inculcado a lo largo de mi vida y sobre todo por ser mi principal motivación para haber llegado hasta aquí.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida y representar para mí la unidad familiar.

A mi novio por apoyarme siempre y confiar en mis capacidades.

A mis tutores por su paciencia, por brindarme su asesoría y aclarar mis dudas.

## Resumen

Existe una creciente preocupación mundial por el impacto ambiental que están generando los desechos provenientes de los bienes de consumo masivo como lo son los envases PET. Se han realizado varios estudios al respecto entre los cuales se encuentran los sistemas de depósito reembolsable como alternativas de solución recomendadas por varios autores; sin embargo no han tenido gran acogida en muchos países, esto puede atribuirse a los perjuicios que estos ocasionan en los minoristas. Esta investigación propone un modelo de simulación de la logística directa e inversa de plástico PET enfocado a la mitigación de impactos negativos en los minoristas el cual está basado en el artículo científico “Economic analysis of deposit–refund systems with measures for mitigating negative impacts on suppliers” (Numata, 2009). La caracterización del modelo se hace teniendo en cuenta los estudios realizados previamente y se modela utilizando el software de simulación ARENA. Se utilizan diferentes indicadores de medición para analizar el desempeño de la cadena de suministros bajo dicho modelo y posteriormente se definen y modelan varios escenarios alternativos para realizar un análisis comparativo y determinar cuáles serían las condiciones más favorables para los minoristas ante la implantación de un sistema de depósito reembolsable. Finalmente se obtiene que la adopción de políticas de mitigación de impactos negativos en los sistemas de depósitos reembolsables es un gran incentivo para los minoristas puesto que los beneficios económicos son significativos incluso bajo diferentes escenarios y facilitan el flujo del canal inverso en su punto más crítico que es la recolección.

## TABLA DE CONTENIDO

<b><u>1.</u></b>	<b><u>CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....</u></b>	<b><u>12</u></b>
1.1.	INTRODUCCIÓN .....	12
1.2.	OBJETIVOS .....	14
1.2.1.	OBJETIVO GENERAL.	14
1.2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	14
<b><u>2.</u></b>	<b><u>CAPÍTULO II: CONTEXTO Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE ESTUDIO..</u></b>	<b><u>15</u></b>
2.1.	CONTEXTO Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	15
2.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	17
2.3.	JUSTIFICACIÓN. ....	17
2.4.	METODOLOGÍA PROPUESTA. ....	19
<b><u>3.</u></b>	<b><u>CAPÍTULO III: MARCO REFERENCIAL .....</u></b>	<b><u>21</u></b>
3.1.	MARCO TEÓRICO .....	21
3.1.1.	LA LOGÍSTICA INVERSA.	21
3.1.2.	LA SIMULACIÓN DE PROCESOS.	52
3.2.	ESTADO DEL ARTE .....	63
3.3.	MARCO CONCEPTUAL.....	76

<b><u>4. CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN GENÉRICO DE LA LOGÍSTICA DIRECTA E INVERSA DEL PLÁSTICO PET ENFOCADO A LA MITIGACIÓN DE IMPACTOS NEGATIVOS EN LOS MINORISTAS .....</u></b>	<b><u>77</u></b>
4.1.MODELO DE REFERENCIA.....	77
4.2.MODELO PROPUESTO .....	80
4.2.1.ESCENARIOS DE PRUEBA.	92
<b><u>5. CAPÍTULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</u></b>	<b><u>98</u></b>
5.1.RESULTADOS POR INDICADOR .....	98
5.2.RESULTADOS POR MINORISTA.....	106
<b><u>6. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....</u></b>	<b><u>113</u></b>
<b><u>7. REFERENCIAS .....</u></b>	<b><u>115</u></b>
<b><u>8. BIBLIOGRAFÍA.....</u></b>	<b><u>119</u></b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Razones para la introducción de material en el flujo inverso, según tipo y origen de acuerdo a Díaz A. Álvarez M.J. y González P.....	31
Tabla 2. Actividades de logística inversa de acuerdo a Díaz A. Álvarez M.J. y González P.....	33
Tabla 3. Características de distintas alternativas finales de acuerdo a Díaz A. Álvarez M.J. y González P.....	41
Tabla 4. Distancias entre fabricante y distribuidores.....	82
Tabla 5. Distancias entre minoristas.....	83
Tabla 6. Tasa media de llegada de clientes.....	83
Tabla 7. Cantidades vendidas por minorista.....	84
Tabla 8. Inventario inicial por minorista.....	85
Tabla 9. Distancias entre reciclador y minoristas.....	85
Tabla 10. Escenario No. 1: Escenario inicial.....	92
Tabla 11. Escenario No. 2: Se aumentan los días de despacho por semana.....	93
Tabla 12. Escenario No. 3: Se aumenta el punto de re-orden.....	93
Tabla 13. Escenario No. 4: Se aumenta la cantidad de pedido por minorista.....	94
Tabla 14. Escenario No. 5: Se aumenta la tasa de recolección de envases.....	94



Tabla 15. Escenario No. 6: Se combinan los escenarios 2 y 4.....	95
Tabla 16. Valoración de resultados minorista 1.....	106
Tabla 17. Valoración de resultados minorista 2.....	107
Tabla 18. Valoración de resultados minorista 3.....	109
Tabla 19. Valoración de resultados minorista 4.....	110

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cadena logística de acuerdo a Díaz A. Álvarez M.J. y González P.....	22
Figura 2. Evolución de los conceptos englobados dentro de la gestión logística de acuerdo a Díaz A. Álvarez M.J. y González P.....	24
Figura 3. Canal directo y canal inverso de acuerdo a Díaz A. Álvarez M.J. y González P.....	28
Figura 4. Flujo de retornos y mercado secundario de acuerdo a Díaz A. Álvarez M.J. y González P.....	35
Figura 5. Clasificación de los sistemas inversos de acuerdo a Díaz A. Álvarez M.J. y González P.....	45
Figura 6. Modelo continuo para el diseño de red de acuerdo a Wojanowski, Verter y Boyaci.....	66
Figura 7. Cadena de suministro caracterizada de acuerdo a Cardoso, Barbosa-Póvoa y Relvas.....	71
Figura 8. Modelo en caso que el minorista retenga los depósitos no reclamados de acuerdo a Numata D. ....	78
Figura 9. Modelo en caso que el gobierno decomise los depósitos no reclamados de acuerdo a Numata D. ....	78
Figura 10. Bebidas vendidas por minorista .....	98
Figura 11. Envases recuperados por minorista .....	99

Figura 12. Ventas perdidas por faltantes por minorista .....	100
Figura 13. Nivel de servicio por minorista .....	102
Figura 14. Costo de almacenamiento por minorista. ....	103
Figura 15. Ingreso económico total por minorista. ....	104
Figura 16. Utilidad por minorista.....	105
Figura 17. Valoración de resultados minorista 1 .....	106
Figura 18. Valoración de resultados minorista 2 .....	108
Figura 19. Valoración de resultados minorista 3 .....	109
Figura 20. Valoración de resultados minorista 4 .....	111

## **1. Capítulo I: Descripción Del Proyecto**

### **1.1. Introducción**

El acelerado ritmo de vida del ser humano está generando una creciente demanda de productos que sean capaces de adecuarse a este estilo de vida. Lo anterior contempla el aumento en el desarrollo y producción de alimentos precocidos, en conserva, bebidas embotelladas, entre otros. El PET se ha convertido en un material esencial por sus múltiples aplicaciones ya que posee características que favorecen el manejo y distribución de tales productos. Los altos niveles de consumo de este material han derivado a su vez en una gran cantidad de residuos, ya que solo un pequeño porcentaje del PET que se consume en el mundo es reciclado, el resto se dispone en rellenos sanitarios y tiraderos. Esto se ha convertido en un gran problema ambiental pues las botellas PET tardan entre 100 y 1.000 años en degradarse (*Ripa, 2016*).

A raíz de esta gran preocupación se han realizado varias investigaciones al respecto y se han propuesto distintas alternativas de solución dentro de las cuales se encuentran los sistemas de depósito reembolsable, que a pesar de ser recomendados por varios estudios como “Empaques, envases y embalajes: una propuesta normativa” (Avella, 2005), “A cost-benefit analysis of a deposit–refund program for beverage containers in Israel” (Lavee, 2010), “Evaluation of economic aspects of the deposit-refund system for packaging in Latvia” (Dace, Pakere & Blumberga, 2013), entre otros, no han logrado tener gran acogida en muchos países debido a los impactos negativos que ocasionan en los minoristas, pues son estos quienes tienen la labor más tediosa que es la gestión de recolección de envases y las actividades que de allí se desprenden tales como gestión de depósitos, espacio para almacenar envases vacíos, personal para recepción de envases vacíos, etc.

Teniendo en cuenta lo anterior, el proyecto propone un modelo de simulación genérico que va enfocado a la mitigación de impactos negativos en los minoristas y contempla un sistema de depósitos reembolsables para envases PET. Dicho modelo está basado en el estudio “Economic analysis of deposit–refund systems with measures for mitigating negative impacts on suppliers” (Numata, 2009).

El modelo contempla las siguientes políticas de mitigación:

- Los ingresos por las ventas de envases vacíos son de propiedad del minorista.
- El gobierno le reconoce al minorista una comisión por la gestión de recuperación de envases realizada.
- Al minorista se le permite quedarse con los depósitos no reclamados siempre y cuando la externalidad negativa asociada a los envases no recuperados no supere el 50% del valor total de los depósitos gestionados.

Para la simulación del modelo se utiliza el software Arena versión 14.0. Adicionalmente se proponen 5 escenarios alternativos con el fin de evaluar y determinar las condiciones más favorables para los minoristas.

Finalmente se realiza un análisis comparativo de los principales indicadores de desempeño de cada uno de los escenarios modelados haciendo uso de tablas de datos y representaciones gráficas.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general.**

- Diseñar un modelo de simulación genérico de la cadena de suministro de logística directa e inversa de plástico PET enfocado a la mitigación de impactos negativos en los minoristas ante la implantación de un sistema de depósito reembolsable.

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

- Realizar la caracterización del modelo y estimar los valores de entrada con base en la revisión literaria de los estudios realizados previamente sobre logística inversa de bienes post consumo.
- Modelar la cadena de suministro de logística directa e inversa de plástico PET y analizar y definir posibles escenarios alternativos que mitiguen los impactos negativos de los sistemas de depósito reembolsable en los minoristas
- Modelar los diferentes escenarios alternativos y hacer un análisis comparativo con respecto al escenario inicial.

## **2. Capítulo II: Contexto Y Descripción Del Problema De Estudio**

### **2.1. Contexto y Descripción del Problema.**

A través de los años se ha visto un aumento de la preocupación mundial por el impacto ambiental que actualmente están generando las empresas industriales en torno a los bienes post consumo. El destino de una importante porción de estos productos es en botaderos o incineración, lo cual se ha probado que genera problemas de salud social o contaminación tóxica a través de la emisión de gases de efecto invernadero.

Una de las alternativas es el planteamiento del retorno de los bienes post-consumo a las empresas para integrarlos de nuevo a la cadena logística, transformándolos en materia prima o en el mejor de los casos re-utilizando el mismo producto un número máximo de veces para evitar generar un impacto ambiental mayor. A esto se le conoce como logística inversa.

Este concepto está desarrollado en los países industrializados, siendo apoyados fuertemente por un marco legal que es respetado por las empresas, como por ejemplo el código ambiental de Suecia que contempla medidas reglamentarias que obligan a las empresas a asegurarse de que los residuos se recojan, eliminen, reciclen o reutilicen de manera que se cumplan los requisitos para una adecuada gestión de residuos con respecto a la salud y el medio ambiente; tales medidas hacen referencia a los residuos procedentes de los artículos o empaques fabricados, sean importados o producidos, y a los residuos generados por sus actividades. Como resultado, la tasa de reciclaje de este país es del 99% del total de sus residuos (*Villareal, 2016*). Incluso, algunas de ellas toman iniciativas que profundizan en la reducción de impacto ambiental dentro de sus procesos. Sin embargo, la logística reversa en los países en vía de desarrollo, como Colombia, no representa un foco importante para las empresas y para el gobierno, lo cual causa que el

reciclaje sea tomado informalmente y se forme cierta cadena reversa no definida que posee las siguientes ineficiencias e impactos negativos al medio ambiente:

- a) Los actores que interactúan en la cadena no están definidos.
- b) No hay una manipulación adecuada de los residuos, por tanto la salud humana está expuesta a la contaminación y posteriormente al deterioro de la salud de los recicladores informales.
- c) No se puede establecer la trazabilidad o el destino que toman los productos reciclados.
- d) Se recupera un porcentaje bajo del total de los residuos generados en el día.

Los aspectos anteriores impactan directamente sobre el costo de gestión de residuos en la cadena logística reversa.

A este problema se le suma que el marco legal ambiental colombiano en materia de residuos (resolución 541 de 1994, ley 430 de 1998, decreto 4741 de 2005, resolución 1362 de 2007, ley 1259 de 2008) es frágil y las autoridades no son impositivas en el cumplimiento de las normas establecidas. Por tanto, no se garantiza que las empresas gestionen la recuperación de los productos post-consumo a no ser que la empresa misma tome iniciativa. Además, no existe una estrategia de incentivos económicos que motive a las empresas a tomar iniciativa en torno al reciclaje, teniendo en cuenta los altos costos tecnológicos que acarrea el procesamiento del reciclaje de algunos desperdicios.

Dentro de las estrategias recomendadas por diferentes estudios realizados para dar solución o minimizar esta problemática ambiental, se encuentran los sistemas de depósito reembolsable; sin embargo la aplicación de estos sistemas no ha logrado tener gran acogida en muchos países. Esto se le puede atribuir en gran parte a los impactos negativos que dichos sistemas suelen traer sobre los minoristas pues son estos quienes tienen la mayor carga o responsabilidad en la cadena



de logística inversa a la hora de gestionar la devolución de los bienes post consumo, provocando así renuencia o rechazo de parte de ellos ante la posible implantación de un sistema como este.

El proyecto se centrará en plantear una solución en este aspecto en un marco genérico, enfocándose en un solo tipo de residuo: el plástico PET. Este material representa un importante porcentaje de los residuos sólidos generados en los países en vía de desarrollo. Por tanto, se debe tener una atención prioritaria de este residuo.

## **2.2. Formulación del problema**

¿Cuáles serían las condiciones más favorables para mitigar los impactos negativos sobre los minoristas ante la implantación de un sistema de depósito reembolsable dentro de la cadena de suministro inversa de plástico PET?

## **2.3. Justificación.**

*J. González-Benito y González-Benito (2006)*, afirman que las iniciativas actuales de las empresas en torno a las prácticas de logística ambiental son el resultado de variables como la creciente presión de los clientes, proveedores, funcionarios mismos de la empresa, el gobierno, organizaciones no gubernamentales, medios de comunicación y el grado de consciencia ambiental de los administradores. Debido a que la empresa depende exclusivamente del cumplimiento de las expectativas (demanda) de los actores con quienes interactúa, esta se ve forzada a implementar prácticas de logística inversa dentro de su cadena de valor. Además, *Kara, Rugrungruang, y Kaebernick (2007)* afirman que dado los intereses de los consumidores por productos amigables con el medio ambiente, las empresas se han visto forzadas para considerar el impacto de sus productos en el medio ambiente. Lo anterior implica que la responsabilidad de las empresas va más allá de la producción y distribución de sus productos.

*Abdulrahman, Gunasekaran, y Subramanian (2014)* se centran en establecer qué afecta la implementación de la Reverse Logistics (RL) desde la perspectiva de las empresas manufactureras de China para poder dar conocimiento crítico de ellas y brindar una mayor comprensión de dichas barreras para poder reducirlas o eliminarlas. Los autores resaltan que la RL es una parte infravalorada de la cadena de suministro por las siguientes razones: interés mínimo por parte de la gerencia, compromiso insuficiente de tiempo, implica un cambio de prioridades funcionales en las empresas y la falta de un diseño integrado de la cadena de suministro en torno a RL. Se sobresalta que la mejor operación de RL llevaría a un nivel mayor de ventas y costos operacionales reducidos. Además se tiene conocimiento que la RL trae los siguientes beneficios: utilización eficiente de los recursos (menor costo) y protección ambiental.

*Coelho, Castro, y Gobbo (2011)* mencionan que los plásticos PET tienen alta participación e importancia en los residuos sólidos, generalmente representan un alto porcentaje de estos. Lo anterior es debido a que es un material que se encuentra en los productos de consumo masivo y en mayor medida en los productos de bebidas. Por tanto, su impacto ambiental es alto en comparación con otros tipos de residuos. Además afirma que el reciclaje PET trae los siguientes beneficios económicos: reduce el volumen de basura en los tiraderos, ahorro de energía eléctrica y aceites dado que la mayoría de PET están hechos a base de aceites, generación de empleo, baja los precios al consumidor de productos reciclados y requiere menor energía que la que se requiere para generar materia prima.

Casos como los expuestos por *Kara et al. (2007)* y *Ramezani, Bashiri, y Tavakkoli-Moghaddam (2013)* realizan modelos de cadenas de logística inversa en los que el costo por producto reciclado es la variable crítica en la implementación de las mejoras del sistema que se proponen. Estos sistemas se llevan a cabo en países industrializados como Australia. Afirman

que no es posible establecer un modelo de logística reversa si no existe beneficio económico para las empresas, y que este indicador del costo es de mayor peso que incluso la iniciativa de preservar el medio ambiente.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede concluir que la logística inversa representa una oportunidad para las empresas de sacar el máximo provecho de sus productos post-consumo transformándolos en materias primas y a la vez añadiendo valor a su cadena en general mediante la minimización del impacto ambiental.

## **2.4. Metodología propuesta.**

Inicialmente se realizó una revisión literaria que incluyó libros y artículos científicos para conocer cómo se han modelado los sistemas de logística inversa en países desarrollados, teniendo en cuenta los siguientes conceptos: eslabones implicados, definición de los procesos, distancia entre eslabones, restricciones, período de tiempo, productos reciclados analizados, costos de transporte, costo de proceso, costo de recolección, costo de almacenamiento, entre otros. De todos los artículos científicos revisados se seleccionó uno llamado “Economic analysis of deposit–refund systems with measures for mitigating negative impacts on suppliers” (Numata, 2009) teniendo en cuenta su enfoque hacia uno de los puntos más críticos de la cadena inversa que es los impactos negativos que traen los sistemas de depósito reembolsable sobre los minoristas y fue tomado como base para la investigación. Se procedió a diseñar el modelo de la cadena de suministro de logística directa e inversa de plástico PET con base en el artículo seleccionado previamente utilizando la herramienta de simulación Rockwell Arena Simulation Software versión 14.0 que fue seleccionada de acuerdo con la revisión literaria realizada, por sus ventajas en cuanto a efectividad para explorar sistemas estocásticos, continuidad del tiempo, y flexibilidad frente a otras alternativas como la programación lineal y la heurística.

Dado que el artículo seleccionado como base para el modelo es de carácter teórico y carece de datos de entrada, algunos datos fueron tomados de un estudio realizado por el mismo autor en el estado de California; el resto de los datos fueron estimados con base en la experiencia laboral del autor de esta investigación en el sector del reciclaje en la ciudad de Barranquilla.

Considerando los modelos contenidos en la literatura revisada se definieron los indicadores de desempeño que permitirían realizar un análisis exploratorio de la cadena a modelar. Se extrajeron los datos de interés del informe arrojado por el Software Arena al final de la simulación y se plasmaron en una hoja de cálculo para su análisis, se identificaron los indicadores que presentaban menor rendimiento y con base en esto se definieron 5 escenarios alternativos en los cuales se modificaron diferentes entradas que a juicio del autor podrían impactar positivamente aquellos puntos débiles del modelo y así contribuir a la mitigación de los impactos negativos de los sistemas de depósito reembolsable en los minoristas como objetivo principal.

Una vez definidos los escenarios alternativos se procedió a modelar nuevamente la cadena de suministro modificando las entradas propuestas por cada escenario de manera independiente y así mismo fueron almacenados para facilitar su posterior análisis.

Finalmente se tomaron los informes arrojados por el software Arena para cada uno de los escenarios y se extrajeron los mismos datos utilizados para el análisis del modelo inicial, se tabularon en una hoja de cálculo a manera de cuadro comparativo y se generaron distintas representaciones gráficas por indicador y por minorista para realizar un análisis de diferencias porcentuales y de valores como tal para establecer que tan impactantes fueron las mejoras dentro de la cadena y cuáles serían las condiciones más convenientes para los minoristas.

### **3. Capítulo III: Marco Referencial**

#### **3.1. Marco Teórico**

##### **3.1.1. La logística inversa.**

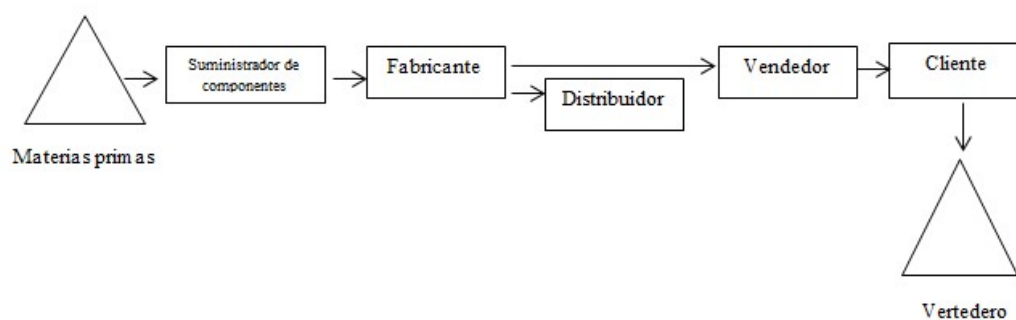
##### ***3.1.1.1. La cadena logística.***

La logística trata los problemas del suministro relativos al tiempo, lugar y forma en que son requeridos los bienes y servicios. Nótese que las empresas no actúan de manera independiente, sino que forman parte de una cadena de suministros cuya estructura tiene 2 dimensiones: la horizontal (número de eslabones que la integran) y la vertical (número de miembros que constituyen cada uno de los eslabones). Su mayor o menor éxito dentro de la cadena va a depender de la capacidad para integrar su actividad y las relaciones con el resto de los miembros de la cadena.

Por tanto es importante conocer quiénes son los integrantes de la cadena de suministros y de qué tipo son (suministradores, productores, vendedores). Lambert et al. (1998) consideran 2 categorías no excluyentes entre sí: los socios primarios, que constituyen unidades estratégicas de negocio que diseñan y/o crean el producto (por ejemplo, los productores); y los socios secundarios o de apoyo, que son quienes aportan los recursos o el conocimiento (entre ellos están los transportistas o las consultorías).

La gestión de la cadena logística consiste en organizar adecuadamente todo el proceso desde la extracción de materias primas hasta la entrega del producto terminado al cliente en el lugar apropiado, el momento oportuno y en el modo adecuado (véase la figura 1). En general, las actividades logísticas en las empresas se ha estimado que suponen en torno al 20 por 100 de sus

costos totales. En este proceso, las actividades intermedias consisten básicamente en la transformación de las materias primas en productos terminados añadiendo valor a los mismos, así como en la distribución y promoción de los productos entre vendedores y clientes, sin olvidar el intercambio de información necesario entre los distintos miembros de la cadena. Dicho de otro modo, la cadena de suministros de un producto se puede considerar asociada al ciclo de vida del mismo. En esta cadena, hay unas entradas (los recursos y la energía necesarios), y unas salidas: los productos deseados con interés comercial para la empresa y los contaminantes (subproductos no deseados del proceso productivo). Sin embargo, la función logística no ha sido considerada durante muchos años como importante en la gestión de las empresas. Se trata de una disciplina relativamente nueva, y que por no representar cambios en los productos (solo un movimiento), da la impresión de que no les añade valor.



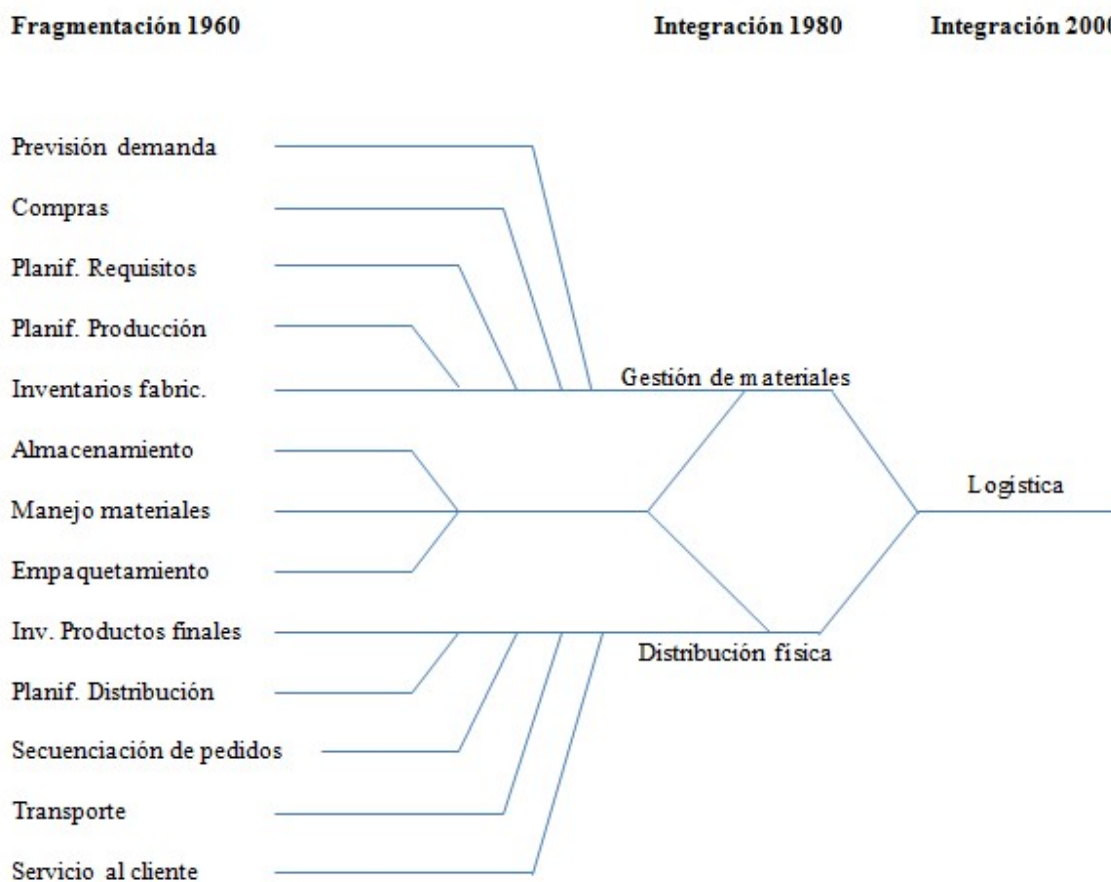
*Figura 1.* Cadena logística. “Logística Inversa y Medio Ambiente”, de A. Díaz, M. J. Álvarez, & P. González, 2004, Mc Graw Hill.

La logística moderna tiene sus orígenes en las prácticas del ejército americano encaminadas a mover eficientemente sus tropas durante la segunda guerra mundial. Posteriormente, en los años sesenta, las ideas desarrolladas en el terreno militar fueron aplicadas al mundo de la empresa comenzando por la distribución de los productos (hacerlos llegar al mercado una vez finalizado su proceso productivo). En este proceso, entre la fábrica y el cliente,

pueden intervenir distintos agentes, como empresas de transporte, almacenes, distribuidores o vendedores. La importancia del transporte se vio claramente con la crisis del petróleo en los setenta y el aumento del precio del mismo. Un ejemplo de lo anterior fue la transferencia que inició el gobierno del Reino Unido en 1973 del transporte de mercancías y pasajeros de la carretera al ferrocarril después de que la red de este último había sido reducida en la década de los 60, la imposición de límites máximos de velocidad de 50km/h con el fin de reducir en gran medida la demanda de petróleo (*Parish, 2009*).

Posteriormente se gestionó también el flujo de materiales en planta, desde la entrada de las materias primas en la empresa hasta la expedición del producto terminado, de manera que así se controla todo el proceso hasta que el producto es entregado al cliente. Los problemas y crisis políticas de los países del tercer mundo produjeron un incremento del precio de las materias primas, lo que aumentó el interés por el aprovisionamiento.

En esta misma época, la escasez de algunos recursos provocó cambios en la demanda de ciertos productos, lo que hizo más interesante disponer de inventarios para cubrir periodos de necesidad. De este modo la gestión de inventarios (materias primas, componentes, productos en curso, productos terminados) pasa a convertirse en un factor de ahorro de costes para la empresa. La subida de los tipos de interés provocó en paralelo la necesidad de reducir los niveles de inventarios.



*Figura 2.* Evolución de los conceptos englobados dentro de la gestión logística. “Logística Inversa y Medio Ambiente”, de A. Díaz, M. J. Álvarez, & P. González, 2004, Mc Graw Hill.

Hoy en día, la actual competencia internacional y la globalización de los mercados han llevado a prestar un cada vez mayor interés al campo de la distribución y las ventas. Por otro lado, los avances tecnológicos (desregulación del transporte y revolución informática) han contribuido también a incrementar su relevancia. La logística ha ido integrando todos estos factores comentados, en su tiempo considerados como independientes (Véase la figura 2).

Son varias las definiciones de logística que se podrían citar:



- La gestión y el control efectivo de los inventarios (materias primas, productos semielaborados o productos terminados), bien en movimiento o almacenados (*Coyle et al., 1992*).
- Las 7 CES (*Shapiro & Heskett, 1985*). Consiste en el aseguramiento de la disponibilidad de:
  - 1.El producto correcto
  - 2.En la cantidad correcta
  - 3.En las condiciones correctas
  - 4.En el sitio correcto
  - 5.A la hora correcta
  - 6.Para el cliente correcto
  - 7.Al coste correcto
- La planificación, implementación y control eficiente y efectivo del flujo directo e inverso y almacenamiento de bienes, servicios e información relacionada, desde el origen al cliente, con el fin de satisfacer sus necesidades (*Council of Logistics Management, 2003*).

De todas estas definiciones se extrae que son varias las actividades logísticas que integran la cadena de suministros:

- *Transporte*. Imprescindible para el movimiento de los productos.
- *Almacenamiento*. Vinculado con el transporte, incluye la gestión de stocks.

- *Empaquetamiento.* El tipo de envoltorio que se le va a dar a un producto dependerá del medio de transporte que se vaya a utilizar y de otras funciones que pueden conferir el propio envase o embalaje al producto.
- *Movimiento de materiales.* Clave en a gestión de almacenes.
- *Secuenciación de pedidos.* Incluye desde la recepción del pedido hasta su entrega.
- *Previsión de inventarios.* Necesaria para facilitar la gestión.
- *Planificación de la producción.* Se debe disponer de los recursos necesarios para satisfacer al cliente.
- *Compras.*
- *Servicio al cliente.*
- *Localización.* Afecta principalmente al transporte y los costes.

Muchas empresas se han dado cuenta de la relevancia estratégica que tiene planificar, controlar y diseñar la cadena de suministros en su conjunto. Incluso algunas empresas han establecido alianzas estratégicas para llevar a cabo los servicios logísticos. No se debe perder de vista de todos modos que el objetivo de la cadena es siempre el cliente, quien demanda sus necesidades aguas arriba.

#### *3.1.1.1.1. El flujo inverso.*

La concienciación medioambiental y la preocupación por la recuperación de los productos al final de su vida útil se han convertido en la última década en parte importante de las políticas gubernamentales y en un tema de índole social, además de influir en los sistemas de gestión y producción de las empresas. La gestión medioambiental, elaborar productos amigables con el medio ambiente, y desarrollar técnicas de recuperación y gestión de los residuos producidos, se

ha convertido en una estrategia para la empresa, constituyendo en muchos casos una ventaja competitiva de la organización.

Este fenómeno afecta a todo el ciclo de vida del producto, desde su diseño hasta su recuperación, pasando por su fabricación y su uso. Hasta ahora no se había potenciado el cierre de este ciclo, pero hoy empieza a ser una necesidad, dada la escasez de algunas materias primas y el aumento y el aumento de los residuos generados con los consiguientes costes y problemas que ello provoca, y con el fin de mantener un entorno sostenible en el futuro.

La gestión de los flujos de retornos (productos que ya han sido utilizados y desechados por su cliente o usuario final) originados por las diversas formas de reutilización de productos y materiales en los procesos de producción industrial ha recibido especial atención en la última década. Sin embargo, reutilizar productos y materiales no es un fenómeno tan nuevo. Los chatarristas metálicos, el reciclaje de papel usado y los sistemas de depósito de botellas de vidrio son algunos ejemplos de reutilización ya aplicados desde hace décadas. En esos casos, la recuperación respondía básicamente a las ventajas económicas que de ella se obtenía. Hoy en día, el rediseño de los envases para usar menos material, o reducir la energía y la contaminación, también son actividades importantes, aunque por otras razones.

Todo ello ha propiciado un aumento de la importancia de la reutilización, reduciendo los costes de materiales mediante estrategias de recuperación, renovación y reprocesamiento. Los componentes usados pueden servir en la producción de nuevos productos con el propósito de mantenimiento o (en algunos casos) para la producción de productos <<equivalentes a nuevos>>. Por otro lado, los esfuerzos de reducción de desechos han potenciado la idea de completar los ciclos de los materiales, haciendo retornar el material recuperado hasta el productor, dado que ofrece oportunidades de reutilización. Este nuevo flujo de material, opuesto al flujo directo de la

cadena de suministro convencional, ha de ser adecuadamente gestionado. El concepto de logística inversa (reverse logistics) incluye no solo el transporte del producto usado desde el usuario final al productor, sino también la transformación de productos retornados en productos nuevamente utilizables (véase la figura 3)

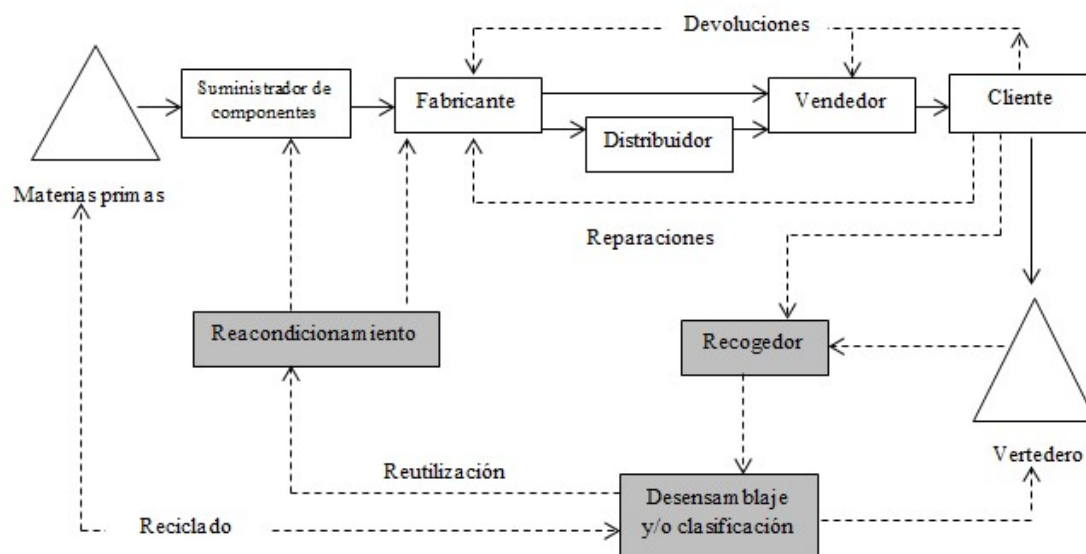


Figura 3. Canal directo y canal inverso. “Logística Inversa y Medio Ambiente”, de A. Díaz, M.

J. Álvarez, & P. González, 2004, Mc Graw Hill.

Según Beaulieu (2000), las actividades incluidas en la cadena logística inversa son:

- La recogida de los productos usados con el fin de dirigirlos nuevamente a una cadena de valor.
- La separación de los retornos en componentes o materiales.
- La clasificación/agrupación de los mismos que permite reunir un volumen importante para que el transporte resulte económicamente rentable.
- El transporte hacia las actividades de tratamiento intermedio o retratamiento.

- El tratamiento intermedio, es decir, el conjunto de actividades (lavado, granulado, filtración) que preparan los activos para las actividades de retratamiento.
- El retratamiento, es decir, las actividades que permiten al activo volver a ser reutilizado (reparación, reciclaje, reacondicionamiento).

Distintos actores pueden, pues, intervenir en el canal inverso, desempeñando diversas funciones más o menos vinculadas con el canal directo. El retorno de productos y embalajes puede ser planificado o (en la mayoría de los casos) imprevisto. Entre las razones para la existencia de los retornos se encuentran (*Amini & Retzlaff-Roberts, 1999*):

a) *Retorno de productos nuevos*: Este hecho se puede producir por varias causas:

- El cliente ha cambiado de opinión respecto al producto adquirido y devuelve el producto tras su compra (Por ejemplo, ropa).
- El producto entregado resulta estar defectuoso (daño estético, no funcionamiento del producto o funcionamiento incorrecto del mismo) o el cliente lo percibe como tal (un aparato eléctrico, por ejemplo).
- El producto ha sufrido daños durante el transporte.
- Un error en el pedido (por parte del agente comercial que lo realiza, por parte del cliente, por un embarque incompleto en el que se produce la ausencia del ítem pedido, por cantidad errónea enviada o por duplicación del pedido).
- Un acuerdo contractual para evitar un exceso de inventarios o eliminar productos obsoletos.

b) *Retorno de productos usados*: Puede tratarse de un retorno por garantía del producto (reparación y/o mantenimiento) o de la retirada de productos de forma planificada que incluyen una amplia variedad de casos:

- Retorno de embalajes reutilizables.
- Programas de cambio de un producto usado por uno nuevo.
- Recogida de productos al finalizar su vida útil.
- Productos de renting o leasing al finalizar el periodo de alquiler.
- Devolución de productos utilizados en una obra o servicio.

Así, los productos introducidos en el flujo logístico inverso pueden ser catalogados en las siguientes categorías (véase la tabla 1):

- a) *Productos de primera calidad que el vendedor ha descatalogado.*
- b) *Un productor compra a un vendedor productos fuera de uso de un competidor.* De este modo, el vendedor libera espacio en las estanterías y el productor puede colocar en ellas sus productos. Además reduce el riesgo del vendedor (no incurre en costes de cambio de suministrador).
- c) *Mercancía estacional que ha llegado a su periodo final de ventas (Por ejemplo, vestuario de playa o de nieve).* Llegado éste, la tienda puede vender los productos con descuento o recuperar su valor por medio del sistema logístico inverso.
- d) *Excesos de existencias.* Se trata de ítems de primera calidad que la empresa tiene en exceso pero que continuará vendiendo. Se puede deber a una sobreestimación de la demanda o a un pedido excesivo. También puede deberse a una inexactitud del productor en las previsiones o a restricciones productivas que exigen un mínimo de producción superior a la demanda. Otra fuente son los retornos del mercado.
- e) *Defectos.* Estos pueden ser descubiertos por el vendedor o por el cliente. Se avisará al productor, que compensará al vendedor con un producto nuevo o con la devolución del dinero.

- f) *Productos falsamente defectuosos*. Se puede deber a que el cliente no ha leído el manual de instrucciones y cree que el producto es defectuoso pues no lo maneja apropiadamente.
- g) *Ítems dañados o usados*. No pueden ser vendidos como nuevos, pues han perdido valor. Lo más difícil es determinar su valor.

Tabla 1.

*Razones para la introducción de material en el flujo inverso, según tipo y origen*

Fuente del flujo inverso		
	Miembros de la cadena de suministro	Usuarios finales
Productos	Mercancía de primera calidad	
	Retornos para equilibrar las existencias	Producto defectuoso/no deseado
	Retornos del mercado	Retornos en garantía
	Fin de vida / estación	Destrucción medioambiental
	Daño en el transporte	
Envases y embalajes		Reutilización
	Embalajes/envases reutilizables	Reciclaje
	Requerimientos de destrucción	Restricciones de destrucción

*Nota.* Recuperado de “Logística Inversa y Medio Ambiente”, de A. Díaz, M. J. Álvarez, & P. González, 2004, Mc Graw Hill.

- h) *Productos en garantía*: Los productos defectuosos en garantía deben ser remplazados por otros en buen funcionamiento o reparados.
- i) El usuario final también puede devolver el producto una vez que ha finalizado su uso con el fin de que sea destruido o tratado de manera amigable para el medio ambiente.
- j) *Productos retornados del consumidor y que han sido abiertos y/o usados por él*: Se gestionan de manera similar a los ítems dañados o a los excesos de existencias. No pueden ser vendidos como de primera calidad.

Una de las dificultades en la gestión de retornos es la diferencia entre los objetivos de productores o vendedores. Siempre que un vendedor quiere retornar un ítem, el productor y el vendedor podrían estar en desacuerdo en la condición del ítem, el valor del ítem y el tiempo de respuesta. Al final, ambas partes necesitan darse cuenta de que deben mantener una relación que lleve al beneficio mutuo. Necesitan trabajar juntos para reducir tanto el número de retornos devueltos como la velocidad de procesamiento de estos. Ineficiencias en el tiempo de procesamiento de los retornos causan perjuicios a ambas empresas.

La logística inversa incluye, pues, una amplia variedad de actividades, las cuales se pueden dividir según se trate de un producto o de envases y embalajes. Una vez que un producto ha sido retornado a una empresa, esta puede elegir entre múltiples opciones (véase la tabla 2):

- Si se trata de una empresa intermedia en el canal de distribución, el producto puede ser devuelto a su proveedor para su total reembolso.
- Si el producto no ha sido usado, puede ser revendido a un cliente diferente o podría ser vendido a través de una tienda de fin de existencias.
- Si el producto retornado no es de suficiente calidad para ser vendido a través de las opciones anteriores, puede ser vendido a una organización benéfica o bien exportado a un mercado extranjero menos exigente.
- Si el producto no puede ser vendido por las vías anteriores o si la empresa puede incrementar significativamente el precio de venta mediante su reacondicionamiento, renovación o reprocesamiento, la empresa podría llevar a cabo estas actividades antes de venderlo.



Tabla 2.

*Actividades de logística inversa*

Material	Actividades de logística inversa
Productos	Retorno al proveedor
	Reventa
	Venta vía fin de existencias
	<<Caridad>> o mercado menos exigente
	Reacondicionamiento, renovación o reprocesamiento por parte de la propia empresa o por parte de un tercero
	Recuperación de materiales
	Reciclaje
	Vertedero
Envases y embalajes	Reutilización
	Renovación
	Recuperación de materiales
	Reciclaje
	<<Caridad>>

*Nota.* Recuperado de “Logística Inversa y Medio Ambiente”, de A. Díaz, M. J. Álvarez, & P. González, 2004, Mc Graw Hill.

- Si la empresa no puede llevar a cabo estas actividades, una tercera empresa podría ser contratada, o el producto puede ser vendido a una empresa especializada en reacondicionamiento, reprocesamiento o renovación. Después de realizar estas actividades, el producto podría ser vendido por segunda vez como un producto reacondicionado o reprocesado, pero no como nuevo.
- Si el producto no puede ser reacondicionado de ningún modo, por su mal estado, implicaciones legales o restricciones medio ambientales, la empresa tratará de deshacerse del producto al menor coste. Cualquier material recuperable será

recuperado y cualquier otro material reciclable será extraído y recuperado antes de que el resto del producto sea enviado al vertedero.

En el caso de los envases y embalajes, las pautas a seguir son similares (Véase la tabla 2). Primero se analizan las opciones de reutilización. Si estas no son apropiadas, se verán las alternativas de renovación del envase o embalaje. Como tercera y cuarta opción aparecen la recuperación de sus materiales y el reciclaje. Finalmente, se le dará un fin benéfico en caso de no ser viables las anteriores prácticas.

Los mercados secundarios constituyen una salida para vender los productos que por una y otra razón no han podido ser vendidos a través de los canales primarios de venta.

Los mercados secundarios frecuentemente implican una transferencia del producto directamente desde el productor a la empresa de mercado secundario. El mercado secundario tiene entonces un papel importante en muchos sistemas logísticos inversos. En la figura 4 se presentan las relaciones entre las actividades logísticas inversas y las actividades del mercado secundario.

Cuando el producto entra en el mercado secundario directamente desde el productor, es porque este habrá desechado el ítem por alguna de las siguientes razones:

- a) *Cambios en el embalaje del producto:* Los cambios en el embalaje provocan una gran cantidad de productos descatalogados. Un embalaje podría cambiar por un rediseño, o un cambio en el tamaño del producto. Esto sucede especialmente en los productos de alimentación.
- b) *Rediseño del producto:* La introducción de un nuevo producto conlleva un problema de inventarios del viejo producto. La versión vieja se podría seguir vendiendo quizá con un

descuento. Pero si el cambio es sustancial podría ser necesario enviarlo al mercado secundario.

- c) *Cancelación de un pedido*: La cancelación de un pedido ocasiona también un exceso de inventario. Al productor le podría interesar vender el producto a un precio suficiente para recuperar el coste de producción del artículo.
- d) *Desajustes con las expectativas de las ventas*: Pueden deberse a unas previsiones optimistas de las ventas del producto. Puede ser preferible vender el producto en un mercado secundario que mantenerlo sin vender durante un largo período de tiempo.

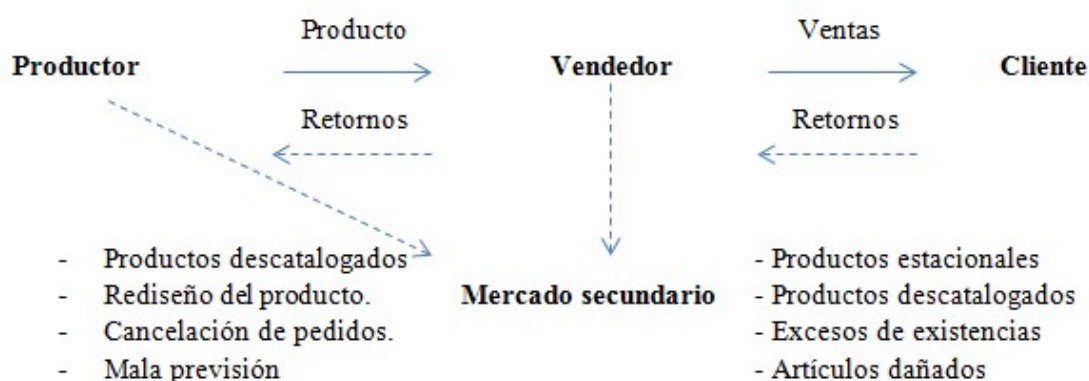


Figura 4. Flujo de retornos y mercado secundario. “Logística Inversa y Medio Ambiente”, de A.

Díaz, M. J. Álvarez, & P. González, 2004, Mc Graw Hill.

### 3.1.1.2. Definiciones de logística inversa.

Un sistema de logística inversa podría ser definido como <<una cadena de suministro que es rediseñada para gestionar eficientemente el flujo de productos destinados al reprocesamiento, la reutilización, el reciclaje o la destrucción, usando correctamente todos sus recursos>>

(Dowlatsahi, 1998).

Por su parte, *Amini y Retzlaff-Robert (1999)* definen logística inversa como <<la gestión de las habilidades y actividades involucradas en la reducción, gestión y destrucción de residuos peligrosos tanto de los embalajes como de los productos>>. Esto incluye la distribución inversa que genera un flujo contrario al habitual de los productos e información, el cual puede surgir de las siguientes iniciativas:

- Por iniciativa del consumidor (artículos retornados voluntariamente).
- Por iniciativa industrial (reciclaje).
- Por iniciativa del gobierno (recogida de productos).

Otros autores como *Kokkinaki et al. (2001)* definen la logística inversa como <<todas las operaciones relativas a la reutilización de productos usados, excesos de inventarios de productos y materiales incluyendo su recogida, desensamblado, y procesamiento de los productos usados, o sus partes o materiales>>. En esta definición queda claro que las primeras acciones para poner en marcha la cadena inversa consisten en la recogida y transporte de productos y embalajes usados, conocidas como distribución inversa, la cual puede ser llevada a cabo mediante el canal directo original, a través de un canal inverso separado, o mediante combinaciones de ambos canales.

A modo de resumen, y a la vista de los distintos puntos de vista presentados, podríamos definir la logística inversa como *la gestión del flujo de productos (entendidos estos como productos propiamente dichos, componentes, materiales o envases y embalajes), destinados al reprocesamiento, reciclaje, reutilización o destrucción, incluyendo además las actividades correspondientes de recogida, acondicionamiento y desensamblado de los mismos*. Es decir, la logística inversa es el proceso de mover artículos desde su destino final para recuperar su valor o

destruirlo. Por lo tanto, las actividades de logística inversa son los procesos que una empresa utiliza para recoger productos usados, dañados, no deseados o desfasados, al igual que los envases y embalajes y el transporte de estos desde los usuarios finales o del vendedor.

Con el fin de establecer un canal eficiente de distribución inversa, entre las decisiones que deben ser tomadas figuran:

- ¿Quiénes son los actores en el canal de distribución inversa? Podrían ser los miembros del canal directo (por ejemplo, fabricantes tradicionales, comerciantes y suministradores de servicios logísticos directos) o partes especializadas (por ejemplo, comerciantes de materiales secundarios e instalaciones de reciclaje o recuperación de materiales). Esta distinción establece restricciones importantes en la integración potencial de la distribución directa e inversa.
- ¿Qué funciones han de llevarse a cabo en un canal de distribución inversa y dónde? Las funciones posibles en el canal de distribución inversa son: recogida, prueba, clasificación, transporte y procesamiento (*Pohlen & Farris, 1992*). Un tema importante es la localización de la clasificación y prueba dentro de la red. Pruebas tempranas podrían evitar el transporte de productos inservibles. Por otro lado, pruebas sofisticadas podrán conllevar equipos caros, los cuales solo pueden ser proporcionados en escasas localizaciones. Clasificar los retornos en las distintas fracciones reutilizables podría resultar más económico en una etapa próxima a la recogida. Sin embargo, los costes de manipulación que conllevan podrían incrementarse y la utilización de la capacidad de transporte podría decrecer con la división temprana. La capacidad (voluntad) del cliente para llevar a cabo parcialmente la función de clasificación es otro aspecto a considerar.

- ¿Cuál es la relación entre el canal de distribución directo y el inverso? La figura 3 muestra un marco para la distribución inversa combinando el flujo directo desde el productor al usuario y el flujo inverso del cliente al productor.

Una particularidad muy importante de los flujos inversos es su alto grado de incertidumbre en el suministro, tanto en calidad y cantidad como en el momento de entrega del producto usado retornado por los usuarios. El análisis de estos factores es determinante en el desarrollo sostenible de la red. Incluso los mercados finales de los productos recuperados podrían no ser bien conocidos. Además, sin los acuerdos adecuados que garanticen el flujo de retornos, no es económicamente factible la recuperación. También se debe tener presente que no consiste simplemente en un volumen total de retornos, pues hay variedad de tipos de retornos y con distintos estados.

Sin embargo, a pesar de las ventajas medioambientales y económicas que representa una buena gestión de los flujos inversos, también se han apuntado una serie de inconvenientes. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

1. La mayoría de los sistemas logísticos directos no están equipados para llevar a cabo el movimiento inverso de retorno y no pueden ser adaptados para su aplicación en ambos sentidos. Por ello, los retornos pueden llegar mucho más rápidamente de lo que son procesados o destruidos. De este modo, gran cantidad de inventarios de retornos es almacenada o no es correctamente identificada. En ambas situaciones la empresa presenta un claro problema de gestión de sus retornos. Además, puede ocurrir que, dada la inexperiencia de este campo, los tiempos de ciclo de procesado de los retornos sean largos.

2. Los costes estimados asociados a la logística inversa son generalmente nueve veces superiores a los de la logística directa (*Amini y Retzlaff-Roberts, 1999*).
3. En ocasiones, los productos retornados no pueden ser almacenados y transportados de la misma forma que los productos originales (*Lambert y Stock, 1993*).

### ***3.1.1.3. Distintas alternativas para los productos en el canal inverso.***

El objetivo común de todas las actividades de logística inversa es determinar cómo la empresa puede obtener eficientemente los productos y envases desde donde no son deseados, a donde puedan ser procesados, reutilizados y recuperados. Para cada producto, la empresa debe decidir el destino final para los productos incluidos en el flujo de logística inversa, y una vez que un producto ha retornado se debe maximizar su valor.

Para hacerlo existen distintas practicas: la reutilización, la reparación, la venta de segunda mano, el reciclado o la renovación (de las partes defectuosas), etc. Todas estas alternativas ya han debido ser tenidas en cuenta a la hora de diseñar los productos. En este apartado se escriben las prácticas más relevantes en el entorno de la logística inversa (véase la tabla 3):

- a) *Reparación/Renovación*: El propósito de la *reparación* es devolver en funcionamiento al cliente productos usados fuera de funcionamiento. La calidad de los productos reparados es generalmente menor que la de los productos nuevos. La reparación puede implicar la reparación y/o reemplazo de las partes estropeadas, mientras que otras partes no estarán en principio afectadas y seguirán integrando el producto. Normalmente, la reparación requiere solo el desensamblado y reensamblado limitado del producto. Se puede llevar a cabo en el entorno del cliente o en los centros de reparación controlados por el productor.

Los sistemas de reparación consideran el reemplazo de los ítems fallidos con repuestos. Los ítems estropeados son reparados lo más rápidamente posible y pasan a integrar el inventario de repuestos. Cada retorno es acompañado de una demanda en la misma cuantía. Por otro lado, el sistema es cerrado en cuanto a que el número total de ítems requeridos es constante. Estas características distinguen los modelos de reparación de los modelos más generales de recuperación de productos.

Por el contrario, el objetivo de la *renovación* es dar a los productos usados una calidad específica. Los estándares de calidad son menos rigurosos que los de los productos nuevos. Todos los módulos son inspeccionados y reparados o reemplazados. Los módulos que pasan los controles son reensamblados en productos renovados. Ocasionalmente, la renovación se combina con tecnologías actualizadas para reemplazar módulos y partes desfasadas por otras tecnológicamente superiores. La renovación mejora significativamente la calidad y extiende la vida del servicio, aunque suele ser menor que la de un producto nuevo.

b) *Reciclaje/Reprocesamiento*: El reprocesamiento/reciclaje es un conjunto de actividades que añaden valor durante el proceso de transformación convirtiendo los productos y partes retornados en productos reciclados o refabricados. Las tecnologías, procesos y capacidades de producción actuales deberán ser utilizados en su totalidad para los propósitos de reprocesamiento.

El reciclaje de material consiste en la recuperación del material contenido en los productos retornados mediante el desensamblado de las partes, su clasificación y su transformación en materias primas, es decir, implica nuevos procesos de producción. Por lo tanto, la identidad y la funcionalidad del producto se pierden. Consecuentemente, los métodos convencionales de planificación de la producción deben adaptarse a la planificación y control de las operaciones de



reciclaje. Esta situación es más compleja si se considera el desensamblaje previo al proceso de reciclaje. Actualmente, el reciclaje está siendo utilizado en numerosos productos (papel, vidrio, plástico y metales son algunos materiales extraídos).

Tabla 3.

*Características de distintas alternativas finales*

Práctica	Características fundamentales	Ejemplos
Reparación	<b>Dar a los productos usados una calidad específica:</b> Estándares de calidad menos rigurosos que los de los nuevos Inspección, reparación y reemplazo de partes Desensamblado + reemplazo por nueva tecnología + ensamblado Se extiende la vida útil del producto	Electrodomésticos
Renovación	<b>Devolver al cliente productos fuera de funcionamiento:</b> Implica la reparación y/o reemplazo de partes estropeadas Desensamblado + ensamblado En el entorno del cliente o en centros especializados Calidad el producto reparado < nuevo	Ordenadores
Reciclaje	<b>Recuperación de materiales contenidos en los productos retornados:</b> Desensamblado + clasificación + transformación de materias primas	Papel, vidrio, plástico, metales
Reprocesamiento	<b>Objetivo:</b> Desensamblado + clasificación + restauración + reensamblado	Ordenadores
Canibalización	<b>Una pequeña proporción del producto retornado puede ser aprovechada. Las partes recuperadas son reutilizadas, reparadas o renovadas para integrar un producto nuevo</b>	Hardware
Reutilización	<b>El producto puede volver a ser usado una vez limpio o tras una reparación menor</b>	Botellas de vino, pallets de transporte, cajas para el transporte y manipulación de bebidas
Vertedero	<b>Última opción:</b> depósito del material	Basura

*Nota.* Recuperado de “Logística Inversa y Medio Ambiente”, de A. Díaz, M. J. Álvarez, & P. González, 2004, Mc Graw Hill.

Una situación aún más compleja se presenta con el *reprocesamiento*. Este conlleva el desensamblado de las partes, su clasificación, su restauración y su reensamblado. Se busca dar a los productos usados estándares de calidad tan rigurosos como los de los productos nuevos. Los productos usados son desensamblados completamente y todos los módulos y partes son extensivamente inspeccionados. Ejemplos típicos son los ensambles mecánicos como motores de aviones o máquinas-herramientas, y un caso más reciente es el reprocesamiento de fotocopadoras.

En contraste con la producción tradicional, no hay una secuencia bien determinada de pasos de producción en el reprocesamiento. Un elevado nivel de coordinación es requerido en el reprocesamiento debido a la interdependencia entre las partes diferentes y los subensambles. El desensamblaje de un producto retornado no es una fuente de procesamiento para una parte individual, sino para varias de forma simultánea. Los problemas de capacidad se complican si varias partes requieren el empleo de la misma instalación de reparación. Inconvenientes similares se presentan con los equipos comunes en la producción de nuevos productos y en la reparación. La principal pregunta en los modelos de reparación o reprocesamiento es cuantos repuestos son necesarios para garantizar un cierto grado de disponibilidad en el sistema.

c) *Canibalización*: Recibe esta denominación el proceso de recuperación cuando solo una pequeña proporción puede ser reusada. El propósito es recuperar un conjunto limitado de partes reutilizables de los productos o componentes ya empleados. Estas partes son reutilizadas en reparación, renovación, o reprocesamiento de otros productos o componentes. Los estándares de calidad en la canibalización dependen del proceso en el cual vayan a ser reusados. Implica el desensamblado selectivo de los productos usados y la inspección de las partes potencialmente reutilizables.

d) *Reutilización directa*: En el caso de la reutilización directa, los productos retornados pueden ser reusados (posiblemente después de limpiarlos o de una reparación menor) sin necesidad de que sean introducidos en el proceso de producción. Esto se aplica a embalajes de transporte reutilizables como pallets, cajas o botellas. Los factores de inventario y distribución-recogida son más importantes que los de planificación de la producción en este caso.

Las formas de reutilización difieren con respecto a las actividades de producción al ser planificadas y podrían implicar diferentes niveles de coordinación. Además, las habilidades requeridas y la experiencia podrían diferir imponiendo restricciones a los actores potenciales involucrados en las actividades de reutilización.

Finalmente, si se comparan entre sí estas prácticas, la reparación, la renovación y el reprocesamiento conllevan el reacondicionamiento del producto y su actualización. Difieren entre sí en el grado de mejora que se consigue del producto. La reparación implica el menor grado de esfuerzo para actualizar el producto y el reprocesamiento el mayor.

La canibalización es simplemente la recuperación de un conjunto restringido en partes reutilizables de los productos usados. El reciclaje es la reutilización de los materiales que constituían el producto o un subensamble.

Si ninguna de esas alternativas fuese viable, el producto será desechado: bien como chatarra (destrucción), mediante su depósito controlado, como donativo benéfico, mediante destrucción por un tercero, o bien se puede vender a un tercero (mercado secundario antes descrito).

#### ***3.1.1.4. Clasificación de los sistemas inversos.***

Como se ha visto, las situaciones en las que se produce la recuperación de productos, componentes y materiales son diversas y pueden ser clasificadas atendiendo a distintos criterios,

incluyendo la motivación hacia la reutilización, el tipo de artículo recuperado, la forma de reutilización, y los actores implicados. Cada uno de estos aspectos tiene implicaciones importantes en el tipo de problemas de planificación y en la formulación de los modelos adecuados (véase la figura 5).

a) *Según la motivación para la reutilización:* La reducción de los desechos ha recibido una creciente atención en los países industrializados en vista de la reducción de la capacidad de los vertederos y la incineración. Varios países han reforzado la *legislación medioambiental*, cargando a los productores con responsabilidad en el ciclo de vida completo del producto. Las obligaciones de devolución después del uso son algunas de las medidas tomadas. Este es normalmente el caso de Europa.

Pero incluso si la legislación es menos rigurosa que las expectativas de los clientes, estos imponen fuertes presiones a las empresas para tener en cuenta los aspectos medioambientales. La imagen <<verde>> se ha convertido en un elemento de marketing importante. Su desarrollo ha estimulado a un gran número de empresas a explorar opciones de retorno y recuperación de subproductos.

Por otro lado, hay también actividades de reutilización motivadas económicamente. Su objetivo es recuperar el valor del producto usado incurriendo tan solo en una pequeña fracción de los costes de producción originales para su reutilización o reventa en mercados secundarios.

Las distintas motivaciones medioambientales y económicas tienen implicaciones importantes en la situación del reutilizador. Mientras los retornos podrían confrontar a los productores con cantidades excesivas de productos retornados para los cuales las opciones de reutilización tienen que ser encontradas, los reprocesadores tienen dificultades en obtener suficientes productos

usados de calidad adecuada para ser revisados. Los aspectos ecológicos y económicos están entrelazados.

1. Según la motivación de la reutilización

Motivos legales	Motivos económicos
-----------------	--------------------

2. Según el tipo de artículo recuperado

Embalajes	Componentes de repuesto	Equipos eléctricos
-----------	-------------------------	--------------------

3. Según la forma de reutilización

Reparación	Renovación	Reciclaje	Reprocesamiento	Canibalización	Reutilización
------------	------------	-----------	-----------------	----------------	---------------

4. Según los actores implicados

Productor	Consumidor	Reciclador	Recogedor
-----------	------------	------------	-----------

*Figura 5.* Clasificación de los sistemas inversos. “Logística Inversa y Medio Ambiente”, de A. Díaz, M. J. Álvarez, & P. González, 2004, Mc Graw Hill.

*b) Según el tipo de artículo recuperado:* Con respecto al tipo de ítems que se están recuperando del usuario final, las principales categorías son: embalajes (por ejemplo, pallets, botellas), componentes de repuestos (por ejemplo, partes de máquinas, tubos de televisión) y artículos domésticos (por ejemplo, copiadoras, frigoríficos). Estas categorías difieren en cuando y por qué los ítems son recuperados.

Los embalajes son retornados rápidamente, ya que no requieren tiempo de espera una vez que su contenido ha sido distribuido. Los componentes de repuesto son retornados por fallo o mantenimiento preventivo, normalmente después de gran tiempo de espera y posiblemente con algún defecto. Los artículos domésticos son retornados mayoritariamente al final de su ciclo de vida.

Otra posibilidad consiste en los retornos después de finalizar el contrato de alquiler. En este caso el tiempo de retorno es conocido previamente y puede ser planificado. Todos estos aspectos influyen en las formas posibles de reutilización del artículo considerado.

*c) Según la forma de reutilización:* Anteriormente se ha tratado específicamente esta clasificación.

*d) Según los actores implicados:* Los actores implicados y sus respectivas funciones, incluyendo recogida, prueba y reprocesamiento, son otros aspectos importantes en la clasificación de las actividades de reutilización.

*Guilinan y Nwokoye (1975)* aportaron uno de los primeros análisis de las redes de distribución inversa, identificando que el canal inverso puede tener formas diferentes dependiendo de las funciones de los miembros individuales del canal y la capacidad para realizar tareas de reciclaje y reprocesamiento.

Una distinción mayor puede hacerse entre reutilización por parte del productor original (en su sector de origen) y reutilización por una tercera parte (un intermediario y otra industria). Esto establece restricciones relevantes a la posibilidad de integrar las actividades de logística directa e inversa. Actualmente los productores tienden a realizar internamente el reprocesamiento debido al conocimiento específico del producto implicado. Por el contrario, el reciclaje es llevado a cabo por empresas especializadas.

Además del reprocesamiento actual, factores especializados han emergido también en las actividades logísticas específicas y los prestadores de servicios logísticos tradicionales han extendido sus servicios. Nuevas actividades se centran en particular en la recogida y transporte de regreso y en el suministro de embalajes de transporte reutilizables.

### **3.1.1.5. Pasos en la implantación de la logística inversa.**

Para llevar a cabo la implantación de un sistema logístico inverso, *Kopicki et al. (1993)* identifican las siguientes etapas a cubrir:

a) *Análisis de las barreras de entrada*: Donde se decide si se permite o no al producto la entrada en el sistema logístico inverso, es decir, se valora si interesa o no el retorno para su recuperación.

b) *Gestión de la recogida del producto que se desea que retorne*.

c) *Clasificación (decisión de qué hacer con cada producto)*: La elección se debe tomar de entre las distintas prácticas de logística inversa descritas anteriormente (reparación, canibalización, reutilización, etc.).

d) *Colocación (enviar los productos a los destinos elegidos)*: Dependiendo de las condiciones del ítem, de las obligaciones contractuales con el vendedor y la demanda del producto, la empresa optará por uno o varios de estos canales:

- *Retorno a través del vendedor-distribuidor (por defectos, retornos del mercado, obsolescencia o exceso de existencias)*. Cuando un productor se da cuenta de que ha colocado un producto defectuoso en el mercado puede estar interesado en recuperarlo a través de sus vendedores; de este modo el cliente puede no llegar a apreciar el error, preservando así la imagen del productor. Otra opción es que quiera evitar que el producto retornado entre en otro canal de depósito o canibalización. En este caso, el propósito perseguido es proteger la marca.
- *Venta como nuevo (en caso de que el producto no haya sido usado o abierto)*. Podría ser necesario reembalar el producto de modo que el cliente no sea capaz de detectar que el

producto está siendo revendido. En algunas industrias hay restricciones legales o de otro tipo para la reventa como nuevo de productos retornados.

- *Venta como final de existencia o con descuento.* Si el producto ha sido retornado si el vendedor tiene exceso de inventario, puede ser vendido en una tienda de fin de existencias. En la industria de la ropa es habitual este canal, sobre todo cuando se dispone de grandes cantidades de ítems al final de la temporada. Vender a través de este tipo de tiendas ofrece una serie de ventajas: Se mantiene el control de los productos y se conoce donde son vendidos los productos. Para muchas empresas, esto les permite mantener su reputación, que es crítica para su posición en el mercado. Sin embargo, las tiendas de fin de existencias conllevan más riesgos y gastos.

- *Venta en el mercado secundario.* Cuando una empresa no ha sido capaz de vender un producto, no puede devolverlo a su distribuidor y es incapaz de venderlo en una tienda de fin de existencias, una de sus últimas opciones es venderlo en el mercado secundario. Se trata de empresas que se especializan en la compra de productos descatalogados, excesos de inventarios o ítems dañados, a precios más bajos.

- *Donativo benéfico.* Si el producto es todavía servible, aunque quizá tenga algún daño estético, vendedores o distribuidores pueden decidir donarlo a organizaciones benéficas. En este caso, la empresa no recibe ningún ingreso a cambio por el producto.

- *Reprocesamiento/renovación.*

- *Recuperación de materiales/reciclaje/vertedero.*

Algunos de los elementos que Rogers y Tibben-Lembke (1999) identifican como claves para lograr el éxito de la implantación de la logística inversa son:



*a) La mejora del mantenimiento de barreras a la entrada de retornos en el canal inverso:*

Se trata de poner freno a la mercancía retornada defectuosa o no garantizada.

Las compañías exitosas tienen clientes satisfechos. El concepto de absorber el riesgo de que un producto pueda estar defectuoso, dañado o simplemente no ser deseado, atrae clientes, incrementando las ventas, y al mismo tiempo, causando problemas a los vendedores. Aunque estas políticas liberales de retornos atraen clientes, también pueden estimular el abuso por su parte.

*b) Una reducción del tiempo de ciclo:* Frecuentemente, cuando el material regresa a un centro de distribución, no está claro si el ítem es defectuoso, puede ser reutilizado o renovado, o necesita ser enviado a un vertedero.

Parte de la dificultad que tienen las empresas en reducir el tiempo de ciclo es que los empleados tienen dificultad en tomar decisiones cuando las reglas de decisión no están claramente establecidas y las excepciones son frecuentes. Es más fácil devolver el producto o una etapa previa en el canal, porque reduce tanto el personal como el riesgo de la empresa.

*c) Los sistemas de información de logística inversa:* Uno de los problemas más serios a los que se enfrentan las empresas en la ejecución de una operación de logística inversa es la escasez de buenos sistemas de información. Los limitados recursos informáticos de la empresa hacen que estos no estén disponibles para las aplicaciones de logística inversa, puesto que no son una prioridad de los departamentos de sistemas de información.

*d) Los sistemas de información centralizados:* Los centros de retorno centralizados son instalaciones de procesamiento dedicadas al manejo rápido y eficiente de retornos. En un sistema centralizado, todos los retornos son llevados a una instalación central donde son clasificados, procesados y entonces son embarcados hacia el siguiente destino. Este sistema

tiene la ventaja de crear los mayores volúmenes posibles para cada uno de los clientes del flujo de logística inversa, los cuales frecuentemente reciben mayores ingresos por cada ítem retornado. También permite a la empresa maximizar su retorno en los ítems, debido, en parte, a la clasificación de los especialistas que desarrollan experiencia en ciertas áreas y consecuentemente pueden encontrar el mejor destino para cada producto.

Una de las actividades más importantes de un centro de retornos es la clasificación. En ella, con toda la información necesaria disponible los trabajadores deciden si el producto puede ser revendido o si se trata de chatarra. Obviamente, determinar el mejor canal para colocar el producto es de crucial importancia para maximizar los ingresos de la logística inversa del producto.

Los retornos tienen un menor impacto en los beneficios de las empresas que emplean centros de retornos centralizados externos que aquellas que disponen de ellos internamente, puesto que no pierden su control.

Resumiendo, las principales ventajas que aporta un centro de retornos centralizados son: la simplificación de los procedimientos de venta, la mejora de las relaciones con el suministrador, el mejor control de los inventarios de los retornos, la mejora de la rotación de inventarios, la reducción de los costes administrativos, la reducción de los costes de almacenamiento, el prestar mayor atención a las competencias centrales del vendedor, la reducción de los vertederos y la mejor información para la gestión.

e) *Cero retornos*: En los programas de cero retornos, el productor y distribuidor no permiten que los productos retornen por el canal de suministros. Esto libera a los miembros del canal aguas arriba de enfrentarse con una parte de la gestión de la logística inversa, aunque no reduce la actuación de los miembros aguas abajo.

Los resultados de esta práctica son variados. Así se aprecian reducciones en los costes de manipulación de los retornos, sin embargo, muchos de los productos considerados como chatarras podrían haber sido recuperados en otros canales alternativos.

En este tipo de programas el suministrador dice a sus clientes que no aceptará ningún producto como retorno una vez realizado el pedido. Por ello le concede un descuento en el pedido. Según el caso, los retornos que aparezcan serán destruidos o desechados por otra vía. Así el productor se puede centrar en la venta de nuevos productos solamente delegando en una tercera parte el proceso de recuperación que se agiliza al ser realizado por una entidad especializada en ello.

*f) Negociación:* Es una parte clave del proceso de logística inversa. Los precios de los retornos se negocian sin ninguna referencia previa. Así, algunos de los participantes en la negociación no comprenden completa y exactamente el valor real de los materiales retornados, creando oportunidades a terceras partes que operan al margen. Algunas veces, las negociaciones son llevadas por terceras partes especializadas que trabajan para transferir el material retornado a la fuente original.

*g) Gestión financiera:* La preocupación principal es determinar la estructura financiera de un sistema logístico inverso, y la manera en la que el producto es depositado. La mayoría de las empresas necesita mejorar los procesos contables internos para integrar en ellos las operaciones de logística inversa.

Frecuentemente, los costes de los retornos son cargados al departamento de ventas, lo que puede complicar el proceso logístico inverso. Si el personal de ventas es penalizado por los retornos, tratará de depositar rápidamente el material retornado sin buscar la vía más adecuada para recuperar su valor.

*h) Outsourcing de las operaciones de logística inversa:* Muchas empresas están subcontratando la mayoría o todas las actividades logísticas, algunas de las cuales extienden la subcontratación al flujo inverso del producto. Frecuentemente, los proveedores externos realizan mejor las actividades inversas y se convierten en especialistas en la gestión del flujo inverso, actuando como claves en los servicios para recuperar valores tales como reprocesamiento y renovación.

### **3.1.2. La simulación de procesos.**

#### ***3.1.2.1. ¿Qué es la simulación?***

La simulación consiste en construir modelos informáticos que describen la parte esencial del comportamiento de un sistema de interés, así como en diseñar y realizar experimentos con tales modelos con el fin de extraer conclusiones de sus resultados para apoyar la toma de decisiones. Típicamente, se utiliza en el análisis de sistemas tan complejos que no es posible su tratamiento analítico o mediante análisis numérico. La simulación es hoy una metodología de experimentación fundamental en campos tan diversos como la economía, la estadística, la informática, la ingeniería química, la ecología y la física, con enormes aplicaciones industriales y comerciales, que van desde los sistemas de manufacturación a los simuladores de vuelo, pasando por los juegos de ordenador, la predicción bursátil y la predicción meteorológica.

La simulación se refiere a un gran conjunto de métodos y aplicaciones que buscan imitar el comportamiento de sistemas reales, generalmente en una computadora con un software apropiado. La simulación puede ser un término extremadamente general dado que se utiliza en muchos campos, industrias y aplicaciones. En estos días, la simulación es más popular y

poderosa que nunca, ya que las computadoras y el software son mejores de los que nunca han existido.

### ***3.1.2.2. La modelación.***

La simulación, al igual que la mayoría de los métodos de análisis, implica sistemas y sus modelos. Si el modelo es simple, se debe poder usar herramientas matemáticas tradicionales como la teoría de colas, métodos de ecuaciones diferenciales o algo como la programación lineal para obtener las respuestas que se necesitan. Esta es una situación agradable puesto que se deberían obtener fórmulas lo suficientemente sencillas para responder a las preguntas, lo cual puede evaluarse con facilidad de forma numérica; trabajar con la fórmula (por ejemplo, tomar derivadas parciales de ella en relación a parámetros controlables de entrada) podría proporcionar un entendimiento en si misma. Aun cuando no se obtenga una formula sencilla de forma cerrada, sino un algoritmo para generar respuestas numéricas, se tendrán respuestas exactas (hasta redondeo, de cualquier forma) más que estimados, que están sujetos a la incertidumbre.

Sin embargo, la mayoría de sistemas que las personas modelan y estudian son bastante complicados, así que sus modelos válidos también son bastante complicados. Es posible que para esos modelos no haya soluciones matemáticas exactas resueltas, y es ahí donde entra la simulación.

### ***3.1.2.3. Simulación por computadora.***

La simulación por computadora se refiere a los métodos para estudiar una gran variedad de modelos de sistemas del mundo real mediante la evaluación numérica al usar un software diseñado para imitar las operaciones o características del sistema, a menudo en el transcurso del

tiempo. Desde un punto de vista práctico, la simulación es el proceso de diseñar y crear un modelo computarizado de un sistema real o propuesto con la finalidad de llevar a cabo experimentos numéricos que den un mejor entendimiento del comportamiento de dicho sistema en un conjunto dado de condiciones. Aunque se puede usar para estudiar sistemas sencillos, el poder real de esta técnica surge cuando se usa para estudiar sistemas complejos.

Mientras que la simulación quizá no sea la única herramienta a usar para estudiar el modelo, con frecuencia es el método elegido. La razón es que el modelo de simulación puede permitirse una gran complejidad si se necesita para representar al sistema con exactitud, e incluso seguir haciendo análisis de la simulación. Otros métodos llegan a requerir suposiciones de simplificación mucho más robustas acerca del sistema, para permitir un análisis, lo cual puede cuestionar la validez del modelo.

a) *Popularidad y ventajas.* Durante las últimas dos o tres décadas se ha reportado consistentemente que la simulación es la herramienta de investigación de operaciones más popular:

- *Rasmussen y George (1978)* cuestionaron a los graduados de ciencias del Departamento de investigación de operaciones de la Universidad Case Western Reserve (de los cuales hay muchos ya que el departamento ha estado ahí durante largo tiempo) acerca del valor de los métodos después de su graduación. Los primeros cuatro métodos fueron *análisis estadístico, pronósticos, análisis de sistemas y sistemas de información*, los cuales son categorías muy amplias y generales. La simulación fue el siguiente método y se clasificó más arriba que otras herramientas de investigación de operaciones más tradicionales como la programación lineal y la teoría de colas.

- *Thomas y Dacosta (1979)* les entregaron a analistas de 137 grandes empresas una lista de herramientas y les pidieron mencionar las que usaban. El análisis estadístico ocupó el primer lugar con 93% de las empresas que reportaron su uso (es difícil imaginar una gran empresa que no lo haga) seguido por la simulación (84%). De nuevo, la simulación estuvo en una posición más alta que herramientas como programación lineal, PERT/CM, teoría de inventarios y programación no lineal.
- *Shannon, Long y Buckless (1980)* encuestaron a miembros de la división de investigación de operaciones del Instituto Estadounidense de Ingenieros Industriales (ahora el Instituto de Ingenieros Industriales) y encontraron que entre las herramientas listadas, la simulación se posicionó en primer lugar tanto en utilidad como en interés y fue la segunda en cuanto a familiaridad, detrás de la programación lineal, lo cual puede indicar que la simulación debiera recibir mayor énfasis en el currículo académico.
- *Forgionne (1983); Harpell, Lane y Mansour (1989) y Lane, Mansour y Harpell (1993)* reportan que el análisis estadístico fue el primero y la simulación el segundo en términos del uso de métodos por profesionales en grandes empresas. Sin embargo, una vez más los currículos académicos parecían ir a la zaga dado que la programación lineal se enseñaba con mayor frecuencia que la simulación, aunque esta era más usada por los profesionales.
- *Morgan (1989)* estudió muchos de los tipos de las encuestas mencionadas y reportó que con frecuencia se encontraba el uso “pesado” de la simulación. Aun en una industria con el uso más bajo de herramientas de investigación de operaciones (autotransportes), la simulación se posicionó en el primer lugar de uso.

La principal razón de la popularidad de la simulación es su capacidad para tratar con modelos muy complicados de los sistemas correspondientes. Esto la hace una herramienta versátil y poderosa. Otra razón de la creciente popularidad de la simulación es el mejoramiento obvio en la proporción desempeño/precio del hardware, al hacerla más rentable para lograr lo que hasta hace pocos años era computo de costo prohibitivo. Por último, los avances en el poder, la flexibilidad y la facilidad de uso del software de simulación han trasladado el enfoque desde la esfera de la programación tediosa, proclive a errores y de bajo nivel a un campo de toma de decisiones rápidas y válidas.

La conjetura es que actualmente la popularidad y la efectividad de la simulación son aún mayores que las reportadas en las encuestas descritas arriba, debido precisamente a dichos avances en hardware y software.

*b) Diferentes tipos de simulación.* Hay muchas maneras de clasificar modelos de simulación, pero una forma útil es a través de estas tres dimensiones:

- *Estático contra dinámico:* El tiempo no desempeña un papel natural en los modelos estáticos pero sí en los dinámicos.
- *Continuo contra discreto:* En un modelo continuo el estado del sistema puede cambiar continuamente en el tiempo, un ejemplo es el nivel de una presa conforme entra y sale el agua, y conforme suceden la precipitación y la evaporación. Sin embargo, en un modelo discreto el cambio puede ocurrir solo en puntos separados en el tiempo, tal como un sistema de fabricación con partes que llegan y se van en tiempo específicos, máquinas que se apagan y encienden en momentos específicos y descansos para los trabajadores. Se puede tener elementos tanto del cambio continuo como del cambio discreto en el mismo modelo, el cual



recibe el nombre de *modelo combinado continuo-discreto*; un ejemplo es una refinería cuya presión cambia continuamente dentro de los recipientes y tiene cierres de ocurrencia discreta.

- *Determinista contra estocástico*: Los modelos que no tienen entradas aleatorias son deterministas; la operación estricta de una agenda de citas con tiempos de servicio fijos es un ejemplo. Por otra parte los modelos estocásticos, operan con al menos algunas entradas aleatorias (como un banco con clientes que llegan de forma aleatoria y que requieren tiempos de servicio variado). Un modelo puede tener tanto entradas deterministas como aleatorias en diferentes componentes; qué elementos se modelan como deterministas y cuales como aleatorios son temas de realismo en el modelo en cuestión.

#### **3.1.2.4. Cuando se usan las simulaciones.**

A medida que las capacidades y sofisticación de los lenguajes y paquetes de simulación han aumentado dramáticamente durante los últimos 40 a 50 años, ha cambiado el concepto de cómo y cuándo usar la simulación.

a) *Los primeros años*: A finales de las décadas de 1950 y 1960, la simulación era una herramienta muy costosa y especializada que por lo general se usaba solo en las grandes corporaciones que requerían sustanciales inversiones de capital. Los usuarios de simulación típicos se encontraban en las empresas de acero y aeroespaciales. Estas organizaciones formaron grupos de personas, en su mayoría con doctorado, que desarrollaron los grandes y complejos modelos de simulación al usar los lenguajes disponibles, tales como FORTRAN. Estos modelos se ejecutaron luego en enormes unidades de cómputo que constaban de 600 a 1000 dólares por hora. Es interesante destacar que las computadoras personales que están sobre los escritorios de

la mayoría de los ingenieros hoy en día son mucho más poderosas y rápidas que las unidades principales de la década de 1960.

*b) Los años de formación:* El uso de la simulación tal y como se conoce ahora comenzó durante la década de 1970 y principios de la de 1980. Las computadoras se hicieron más rápidas y baratas, y el valor de la simulación empezó a ser descubierto por otras industrias, aunque la mayoría de las empresas eran todavía bastante grandes. Se recuerda el inicio de una línea de ensamble automotriz (una inversión de más de 100 millones de dólares) que no conseguía mucho de su potencial. La línea producía un vehículo de reciente diseño que tenía una gran demanda: mucho más grande de la que pudiera satisfacerse con la producción existente de la línea. La administración designó a un equipo FODA para analizar el problema, el cual rápidamente estimó que la ganancia potencial pérdida era de 500.000 dólares por día. Al equipo se le dijo: “encuentre el problema y resuélvalo”. En unas tres semanas se desarrolló y usó una simulación para identificar el problema, que resultó no haber estado en la lista inicial de sospechosos. Al final la línea se modificó y produjo de acuerdo con las especificaciones; por desgracia, para ese momento la competencia estaba produciendo vehículos similares y la producción adicional ya no fue necesaria. Irónicamente, se había usado un modelo de simulación durante el diseño de la línea de ensamble para determinar su viabilidad. Desafortunadamente, muchos de los procesos eran nuevos y el área de ingeniería había dependido de los vendedores de equipo para que les proporcionaran estimados de fallas y razón de procesamiento de trabajos (Throughput). Como sucede con frecuencia, los vendedores fueron demasiado optimistas en sus estimados. Si el equipo de diseño original hubiera usado la simulación para llevar a cabo un buen análisis de sensibilidad en estas cifras cuestionables, el problema se habría descubierto y resuelto bien antes de la implementación.

Durante este tiempo la simulación encontró un hogar en la academia como una parte normal del currículo de la ingeniería industrial y la investigación de operaciones. Su uso creciente en la industria obligó a las universidades a difundirla ampliamente. Al mismo tiempo, la simulación comenzó a llegar a los programas cuantitativos de negocios, ampliando el número y tipo de estudiantes e investigadores expuestos a su potencial.

c) *El pasado reciente:* A finales de la década de 1980, la simulación comenzó a establecer sus raíces reales en los negocios, en gran parte gracias a la introducción de la computadora personal y de la animación. Aunque la simulación aún se utilizaba para analizar sistemas fallidos, muchas personas la solicitaban antes de que comenzara la producción (sin embargo, en la mayoría de los casos ya era muy tarde para afectar el diseño del sistema, pero sí ofrecía al administrador de la planta y al diseñador del sistema la oportunidad de arreglar su historial laboral). Al final de la década de 1980, el valor de la simulación comenzó a reconocerse en muchas empresas grandes, varias de las cuales hicieron de la simulación un requisito antes de aprobar cualquier inversión de capital importante. No obstante, la simulación no tenía un uso extendido y rara vez se usaba en empresas más pequeñas.

d) *El presente:* La simulación en realidad comenzó a madurar durante la década de 1990. Muchas empresas pequeñas la adoptaron y se comenzó a ver su uso en las primeras etapas de los proyectos, en donde podía tener el mayor impacto. Una mejor animación, la mayor facilidad de uso, las computadoras más veloces, la fácil integración con otros paquetes y el surgimiento de simuladores ayudaron a que la simulación se convirtiera en una herramienta normal en muchas empresas. Aunque la mayoría de los administradores admitirán de buena gana que la simulación puede agregar valor a sus empresas, hasta ahora es cuando se ha convertido en una herramienta normal que reside en las computadoras de todos. La forma en que se usa la simulación también

está cambiando: se emplea más temprano en la fase de diseño y a menudo se actualiza conforme se hacen los cambios en los sistemas operativos. Esto proporciona un modelo de simulación vivo que se puede usar en muchos análisis de sistema con muy poca antelación. La simulación también ha invadido la industria de servicios en donde se aplica en muchas áreas que no son tradicionales.

Los obstáculos principales que impiden que la simulación se convierta en una herramienta bien utilizada y aceptada de manera universal son el tiempo de desarrollo del modelo y las habilidades de modelado que se requieren para desarrollar una simulación exitosa.

e) *El futuro*: La razón de cambio en la simulación se ha acelerado en años recientes, y hay razones para creer que continuará con su rápido crecimiento y cruzará los puentes para ser aceptada como la corriente dominante. El software de simulación ha sacado ventaja de los nuevos sistemas operativos para proporcionar una mayor facilidad de uso, en particular para la persona que los usa por primera vez. Esta tendencia debe continuar si la simulación se tiene que convertir en una herramienta de vanguardia que resida en cada computadora de análisis de sistemas. Los nuevos sistemas operativos también permitieron una mayor integración de la simulación con otros paquetes (como hojas de cálculo, bases de datos y procesadores de texto). Ahora es posible prever la integración completa de la simulación con otros paquetes de software que recopilan, almacenan y analizan datos del sistema de interfaz junto con software que ayuda a controlar el sistema del compilador.

La internet y los intranets tienen un gran impacto en la manera en que las organizaciones llevan a cabo sus negocios. El intercambio de información en tiempo real no solo es posible sino que se ha hecho obligatorio. Las herramientas de simulación se están desarrollando para apoyar la distribución de la construcción del modelo, el proceso de distribución y el análisis remoto de

los resultados. Pronto estará disponible un conjunto de herramientas en toda una empresa que proporcione a la totalidad de los empleados de la organización la capacidad de obtener respuestas a preguntas críticas y de rutina.

Con la finalidad de facilitar el uso de la simulación a un mayor número de personas, se verán productos más verticales dirigidos a mercados muy específicos. Esto permitirá que los analistas construyan simulaciones fácilmente, al usar construcciones de modelado diseñadas para su industria o empresa con terminología que se relaciona directamente con su medio ambiente. Estas pueden ser herramientas muy especializadas diseñadas para medios ambientes muy específicos, pero que deberían tener la capacidad de modelar cualquier actividad del sistema que sea única para cada proyecto de simulación. Algunos de esos productos están hoy en día en el mercado en áreas de aplicación, tales como comunicaciones, semiconductores, centros de contacto y reingeniería de procesos de negocio.

Los proyectos de simulación en la actualidad se concentran en el diseño o rediseño de sistemas complejos. A menudo deben tratar con temas complejos de control de sistemas, lo cual puede conducir al desarrollo de una nueva lógica de control de sistemas que se pruebe usando la simulación desarrollada. El siguiente paso lógico es el uso de esa misma simulación para controlar el sistema real (*Wysk, Smith, Sturrock, Ramaswamy, Smith & Joshi, 1994*). Este enfoque requiere que el modelo de simulación permanezca actual, pero también permite una prueba fácil de nuevos controles del sistema conforme el sistema o los productos cambian en el tiempo. A medida que se progresa a este siguiente paso lógico, las simulaciones no serán ya desechables ni se usarán una sola vez, sino que se convertirán en parte esencial de la operación del sistema en curso.

Con los rápidos avances en las computadoras y el software es muy difícil predecir las simulaciones de un futuro lejano, pero aun ahora se observa el desarrollo y la implementación de características tales como el análisis estadístico automático, el software que recomienda cambios en el sistema, las simulaciones totalmente integradas en el software operativo del sistema e incluso la realidad virtual.

### **3.1.2.5. *Arena.***

a) *¿Qué es ARENA?* Es un sistema que provee un entorno de trabajo integrado para construir modelos de simulación en una amplia variedad de campos; integra, en un ambiente fácilmente comprensible, todas las funciones necesarias para el desarrollo de una simulación exitosa (animaciones, análisis de entrada y salida de datos y verificación del modelo).

El desarrollo de modelos de simulación mediante este sistema tiene varias ventajas, entre las que se encuentra:

- Es una poderosa herramienta de simulación.
- Comprende un entorno amigable, que está especialmente diseñado para personas que no poseen conocimientos de programación.
- Los utilitarios que brinda son de fácil uso.
- Cuenta con una excelente capacidad gráfica.
- Ofrece gran versatilidad, pues se puede modelar desde una fábrica automotriz hasta una sala de espera en un hospital.
- Es compatible con productos MICROSOFT OFFICE

b) *Reseña histórica.* Arena tiene sus orígenes en 1982; en ese año Dennis Pegden publicó el primer lenguaje de simulación de propósito general para modelar sistemas de manufactura en un

PC. Esta aplicación constaba de varias características de manufactura de carácter especial, que hacían que el lenguaje fuera bastante útil y eficiente en el momento de modelar sistemas grandes y complejos.

Pero fue solo en 1993 cuando se introdujo el sistema de modelamiento ARENA, el cual crea ambientes gráficos e interactivos para el diseño de modelos mediante el uso del lenguaje SIMAN. Con base en este lenguaje se pueden crear modelos que simulen áreas específicas de los procesos, como el transporte de elementos y la comunicación, entre muchos otros.

### **3.2. Estado Del Arte**

Desde que la disposición final de los productos fuera de ciclo ha tomado fuerza, Taiwán recientemente promulgó el “Scrap Home Appliances and Computers Recycling Regulation” (reglamento de reciclaje de chatarra de computadores y electrodomésticos) que obliga a los fabricantes e importadores a retornar sus productos usados. Se propone un modelo de programación entera mixta para optimizar el diseño de la infraestructura y el flujo reverso de la red. El modelo pretende minimizar los costos, que consiste en: costo de transporte, costo operativo, costos fijos de apertura de nuevas instalaciones, costo de disposición final y costo de rellenos sanitarios. Se contempla el resultado para varios escenarios, los cuales arrojan el número de sitios de almacenamiento y plantas de reciclaje necesarios de acuerdo al tipo de residuo, así como las cantidades promedio de residuos en tales sitios de acuerdo al escenario examinado (Shih, 2001).

Se analiza un modelo que pretende maximizar el nivel de recolección de envases post consumo. Consiste en un modelo de monopolio que contempla un mercado heterogéneo en el cual las preferencias sobre reciclar o no son diversas, así que el monopolista está en capacidad de

hacer una discriminación de precios entre aquellos clientes que no contribuyen al reciclaje de envases. El modelo utiliza cupones o reembolsos por correo que sirven para discriminar precios. También se analizan los subsidios y depósitos adicionales del gobierno para evitar el reciclaje subóptimo y finalmente se incluye en el modelo la opción que los consumidores devuelvan envases desechados por otros consumidores. Entre las variables y parámetros que se tienen en cuenta se encuentran: población, producto, parte reutilizable del producto retornado, costo de retorno de un envase para una persona, beneficio externo de un envase reciclado, ingreso de una persona, precio del producto, precio por unidad devuelta, beneficio marginal constante para el monopolista cuando un consumidor retorna el envase, costo marginal constante de producir el bien. Finalmente se muestra como el reciclaje puede surgir no solo por los incentivos privados y sociales sino por la posibilidad de discriminación de precios entre los consumidores.

Se propone profundizar en los siguientes puntos:

1. La investigación sobre la modelación de la decisión del consumidor sobre la disposición de los residuos que genera, siendo el reciclaje una de ellas.
2. La modelación de la interacción entre sistemas de depósitos reembolsables obligatorios y las políticas de precios de las empresas como una estrategia.
3. La posibilidad de traza en mercados oligopólicos

(*Kulshreshtha & Sarangi, 2001*).

Las prácticas de logística ambiental en las empresas son el resultado de dos variables: la presión de los grupos minoristas y la conciencia ambiental de los administradores. La supervivencia de las empresas depende exclusivamente de crear valor para los minoristas por medio de la satisfacción de su demanda y sus expectativas. De esta forma, la presión ambiental de los minoristas se basa principalmente en responsabilidad social y más aún en responsabilidad



ambiental, exigiendo respeto, estándares, transparencia y compromiso. Entonces, la compañía actuará condicionada por las presiones que recibe y percibe de sus minoristas.

Hay dos posibles vías en las que la conciencia ambiental puede afectar el comportamiento ambiental en la logística. Una es directa: a mayor conciencia ambiental de la administración de la empresa, mayor será la implementación de las prácticas de logística ambiental; y la otra es indirecta: a mayor conciencia ambiental de los administradores, mayor será la presión ambiental percibida hecha por los minoristas, lo que se traduce en que a mayor presión minorista percibida por la empresa, mayor será el esfuerzo de implementación de prácticas de logística ambiental. Este resultado concluye que la presión del minorista es esencial para explicar la proactividad ambiental (J. González-Benito & González-Benito, 2006).

Se presenta un modelo de infraestructura continua para el diseño de una red de retorno y determinación del precio de venta que maximizaría la utilidad de la empresa dado un sistema de depósito reembolsable de forma voluntaria por las empresas e impuesto por el gobierno cuando la tasa de recolección voluntaria lograda por las empresas se considere insuficiente. La preferencia del consumidor en torno a la compra y retorno del producto es incorporado por medio de un modelo discreto de elección. A través de un análisis paramétrico, se determina el valor neto que puede ser recuperado de un producto regresado como lo más determinante para comprometer a las empresas a la recolección.

Se diseña un sistema de recolección a través de instalaciones de recolección que complementan una red existente de minoristas. Se asume que la demanda se distribuye en un área por medio de una función de densidad. Esta densidad es constante sobre el área del mercado; además que cuando un cliente asume el esfuerzo de realizar la devolución del empaque, se dirige hacia el centro de recolección más cercano. Bajo estas dos premisas, el

mercado será servido comprehensivamente por centros de recolección con áreas de servicio de igual tamaño sin traslape. De esta forma, se puede determinar el número de centros de recolección idénticos a instalar en el área de mercado. Se añade, como otra asunción, que estas áreas de servicio son completamente circulares. Esto último facilita el análisis matemático y es común en estudios anteriores. Los segmentos circulares de servicio en el mercado suponen que algunos pequeños trazos no tendrán servicio, pero siendo que el área de mercado es muy grande, resultan estos trazos como insignificativos a gran escala (véase la figura 6).

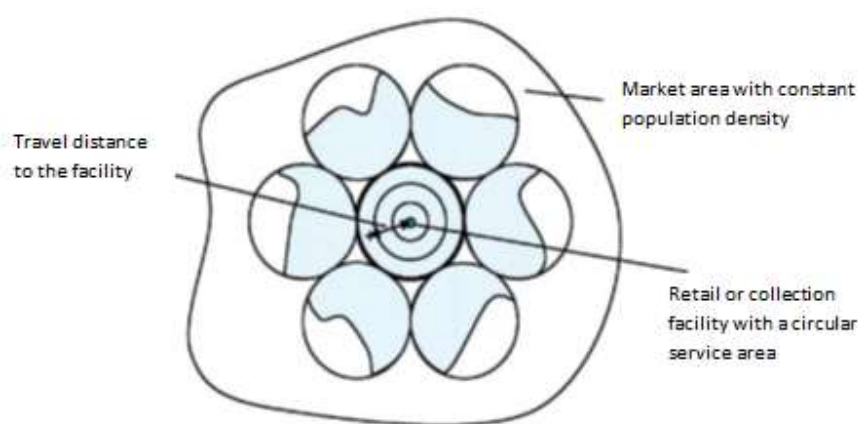


Figura 6. Modelo continuo para el diseño de red. “Retail-collection network design under deposit-refund”, de R. Wojanowski, V. Verter, & T. Boyaci, 2007, *Computers & Operations Research*, 34, p. 324–345.

Para los productos que tienen alto valor de retorno, el sistema de recolección voluntario será suficiente. Aunque en el caso que el gobierno exija un punto mínimo de tasa de recolección mayor que el punto voluntario de la empresa actual para estos productos, la empresa no tendrá problema en aumentar su esfuerzo de recolección. Lo anterior representa un inconveniente económico para los productos cuyo valor de recuperación es bajo. La empresa no se esforzará voluntariamente en retomar estos productos y el gobierno siempre tendrá que ejercer presión en

estos casos. No es óptimo para la empresa simplemente añadir el valor del depósito al precio de venta minorista (*Wojanowski, Verter & Boyaci, 2007*).

Los productos que ya han cumplido su ciclo de vida (End-of-life products, o EOL products) pueden tomar tres distintas alternativas al ser regresados a una empresa:

- Re-uso
- Remanufactura
- Reciclaje

Dado los intereses de los consumidores por productos amigables con el medio ambiente, las empresas se han visto forzadas a considerar el impacto de sus productos en el medio ambiente. Lo anterior implica que la responsabilidad de las empresas va más allá de la producción y distribución de sus productos (*Kara, Rugrungruang & Kaebernick, 2007*).

La aplicación en el mundo real de los sistemas de depósito reembolsable, a pesar de ser muy recomendadas por varios estudios, no ha logrado llegar a ser popular. Esto puede ser atribuido a los impactos negativos que la introducción de estos sistemas causa en los minoristas. Esta responsabilidad es grande, particularmente para los minoristas. Se considera la implementación de dos políticas que ayuden a mitigar estos impactos negativos en un sistema de depósito reembolsable:

- 1) Al minorista se le permite quedarse con los depósitos no reclamados, que resultan de la diferencia entre los depósitos y los reembolsos.
- 2) Se le paga una comisión al minorista por la gestión realizada.

Se revisan los escenarios con la aplicación de cada una de las políticas de mitigación por separado y finalmente la combinación de ambas. Después de analizados se recomienda permitirle al minorista conservar los depósitos no reembolsados siempre y cuando la externalidad

negativa asociada multiplicada por el número de consumidores no supere la mitad del valor de los depósitos y se le pague al minorista la comisión por la gestión realizada incondicionalmente (*Numata, 2009*).

Se realiza un análisis de costo-beneficio a un sistema de devolución de depósitos de envases de bebidas en Israel. En este análisis se revisan y evalúan variables como: almacenamiento, costos de recogida, tratamiento de envases vacíos, limpieza de espacios públicos, ahorro de energía relacionada con los materiales reciclados, generación de empleo, entre otros. Con este análisis se busca demostrar que dicho sistema es realmente rentable y eficiente. Los costos del programa son: costos de tratamiento, costos de recolección, administrativos, marketing, publicidad, gastos generales, costos de supervisión. Beneficios: ahorros en los costos de tratamiento de contenedores, limpieza de espacios públicos, reducción del volumen de los vertederos, ahorro de energía en los procesos industriales, generación de empleo en cada una de las etapas del reciclaje como recolección, clasificación, transporte y tratamiento. El resultado del análisis realizado muestra que el programa es económicamente beneficioso para todos los tipos de contenedores: vidrio, plástico y aluminio. En promedio, el beneficio es de 1,36 mayor que el costo, y si se incluye el beneficio de la generación de empleo sería de aproximadamente 1,6 (*Lavee, 2010*).

Los plásticos PET tienen alta participación e importancia en los residuos sólidos, generalmente representan un alto porcentaje de estos. Lo anterior es debido a que es un material que se encuentra en los productos de consumo masivo y en mayor medida en los productos de bebidas. Por tanto, su impacto ambiental es alto en comparación con otros tipos de residuos.

El reciclaje de PET trae los siguientes beneficios económicos:

- Reduce el volumen de basura en los tiraderos.

- Ahorro de energía eléctrica y aceites, dado que la mayoría de PET están hechos a base de aceites.
- Generación de empleo
- Baja los precios al consumidor de productos reciclados.
- Requiere menor energía que la que se requiere para generar la materia prima.

Sin embargo las tasas de reciclaje de plástico PET son muy bajas y en su mayoría son debido a la falta de una tecnología baja en costos (costo de recolección, transporte y almacenamiento) (Coelho, Castro, & Gobbo, 2011).

El aumento acelerado de residuos ha despertado el interés de los gobiernos en el impacto negativo que esto puede causar a la salud humana y al medio ambiente así como el valor que se puede extraer de dichos residuos. Por tanto, las leyes se han enfocado un poco más en este tema para regular la gestión de residuos e impulsar el desarrollo de técnicas que faciliten dicha gestión. En los países desarrollados como los europeos, se han adoptado leyes que exigen a los productores hacerse responsable de sus residuos e impone ciertas tasas de reciclaje de acuerdo al tipo de residuo. El costo del transporte es un factor clave en la cadena de logística inversa pues la mayoría de las veces este determina si es rentable o no. Por otro lado, el exceso de transporte genera un impacto ambiental negativo, lo que va en contra del propósito principal de la logística inversa. Por tanto, es una de las principales actividades en la que se deben centrar los esfuerzos. Otro aspecto a tener en cuenta en la cadena de suministro de logística inversa es la variabilidad del volumen de los productos que a su vez repercute en el costo del transporte (si se cobra por unidad de volumen) pues al momento de ser desensamblados el volumen puede aumentar, disminuir o permanecer igual. Por el contrario, cuando el transporte es cobrado por unidad de peso, este costo permanecería igual. Para futuras investigaciones podría extenderse el modelo de

logística inversa hasta la logística directa de los productos reciclados para tener una mejor perspectiva y comprensión del mismo (*Quoc Dat, Truc Linh, Chou & Yu, 2012*).

Se realiza un estudio con el fin de estimar los costos de implementación de un sistema de depósito reembolsable para envases de bebidas y evaluar la factibilidad económica del sistema. Para la evaluación se tiene en cuenta: inversión, recogida, transporte, mantenimiento y otros costos de mantenimiento del sistema. La evaluación se hace con el fin de comparar los costos de los productores en el actual sistema de recolección en las aceras versus el sistema de depósitos reembolsables. Se concluye que los costos del sistema de depósito reembolsable dependen de la cantidad de envases puestos en el mercado. La implementación del sistema requiere gran cantidad de inversiones para operar el sistema, así como el desarrollo de los puntos de devolución en las instalaciones de los minoristas. La inversión de los minoristas consiste en adaptar el local para la recolección manual de los envases usados o comprar la máquina expendedora inversa. Ya que el ciclo de vida de una máquina expendedora inversa es alrededor de 7 años, la mayor parte de la inversión tendrá que ir destinada al sistema de mantenimiento. Se espera que los gastos totales de los minoristas aumenten anualmente debido al incremento en la cantidad de envases consumidos, así como los pagos de amortización e intereses. Los costos de recolección manual se estima que son menores que los costos de recolección automática. Para los productores, la implementación del sistema de depósito reembolsable causaría un incremento en los costos de gestión de residuos, ya que ellos necesitarían pagar los cargos del servicio para cubrir los costos del operador (*Dace, Pakere & Blumberga, 2013*).

El establecimiento de redes de logística inversa independientes a la cadena de suministro regular puede resultar en mayores costos de infraestructura, reduciendo el beneficio potencial asociado al tratamiento de productos devueltos. Se propone un modelo para el diseño y

planeación de cadenas de suministro donde las actividades de logística inversa son consideradas simultáneamente a las actividades de suministro hacia delante. El modelo se plantea como una programación lineal entera mixta y tiene en cuenta las consideraciones generales de una cadena de suministro de 4 escalones (véase la figura 7). Las actividades consideradas para esta cadena son: producción, ensamble, almacenamiento, distribución, recolección, clasificación, remanufactura y eliminación de residuos.

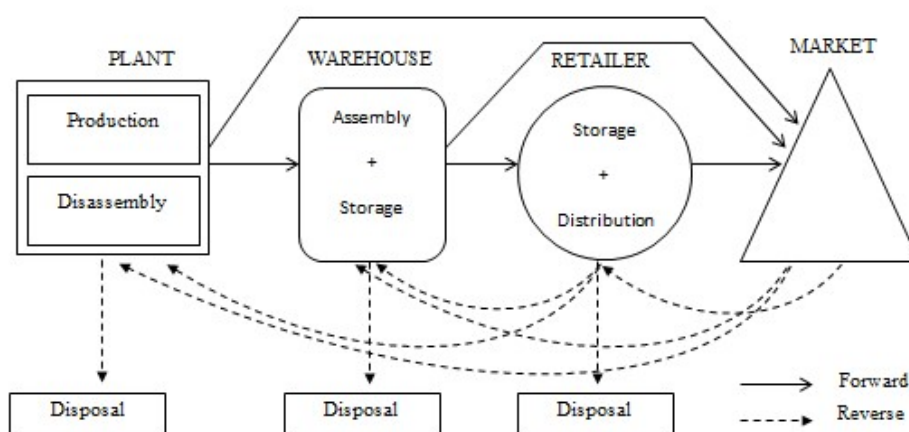


Figura 7. Cadena de suministro caracterizada. “Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty” de S.R. Cardoso, A.P.F.D.

Barbosa-Póvoa, & S. Relvas, 2013, *European Journal of Operational Research*, 226, p. 436–451.

La aplicación del modelo demuestra que la incorporación de logística inversa, aunque costosa, puede resultar en un incremento de los beneficios económicos asociados con la recuperación de productos (Cardoso, Barbosa-Póvoa & Relvas, 2013).

Una perspectiva holística aplicada a un modelo de logística inversa de envases PET conducirá a resultados más benéficos. Un área de investigación en el futuro podría ser la aplicación de la curva de aprendizaje al modelo de logística inversa con el fin de reducir los diferentes costos de procesamiento en el tiempo. Es importante reconocer que los costos de reemplazar botellas

hechas con material PET con materiales biodegradables alternativos podría ser sustancial.

Además, futuras investigaciones deberían enfocarse no solamente en la producción de estas botellas a una gran escala sino también en su producción a un bajo costo. El acceso a los datos empíricos sigue siendo el mayor obstáculo para la operación de los modelos matemáticos; a menos que los académicos y profesionales colaboren para superar este obstáculo, los modelos matemáticos seguirán funcionando como ejercicios teóricos. (*Matar Mohamad & Cory Searcy, 2014*).

Las principales barreras de implementación de la logística inversa son (divididas en dos categorías, internas o externas):

Administración (interna):

- Entender la importancia de la logística inversa
- Falta de personal entrenado
- Compromiso administrativo
- Falta de un buen nivel de administración experta
- Falta de un entendimiento compartido sobre las mejores prácticas
- Falta de prácticas de administración de residuos

Financieras (interna):

- Falta de capital inicial
- Falta de fondos para entrenamiento
- Falta de fondos para almacenamiento y manipulación
- Falta de fondos para monitorear el sistema de retorno de los residuos

Políticas gubernamentales (externa):

- Falta de leyes y directrices aplicables en el retorno de los productos consumidos.



- Falta de políticas de apoyo económico.
- La logística inversa no es considerada como un aspecto crítico para el rendimiento competitivo.
- Los clientes (la gente común) no son informados para devolver el producto usado.
- Falta de conciencia pública sobre protección ambiental
- No se tiene un diseño verde de implementación para los productos caducos.
- No se incentivan las prácticas ciudadanas de reciclaje.

Infraestructura (interna):

- Falta de equipo en las instalaciones de la empresa (equipo de almacenamiento y vehículos)
- Falta de un sistema para monitorear el retorno de los residuos.
- Falta de coordinación de los proveedores

*(Abdulrahman, Gunasekaran & Subramanian, 2014).*

Se realiza un análisis para estimar el rendimiento de la cadena de suministro hacia delante y reversa para una empresa dedicada a la producción de baterías ácidas para uso comercial y entender la relación compleja entre sus partes. Para tal efecto se realiza un modelo basado en una cadena de logística organizada haciendo uso del software Arena 11.0 en el cual se calculan diferentes estadísticos de rendimiento tales como tiempo de ciclo, tiempo y costo de transferencia, etc., dando como resultado que al implementar un modelo similar al propuesto se obtendrán mayores beneficios económicos, mejorará el control sobre el inventario de producto reciclado y disminuirá el impacto ambiental que genera la manufactura de baterías *(Jayant, Gupta & Garg, 2014).*

Las principales causas de la mala administración de los residuos en los países en vía de desarrollo son: técnicas inadecuadas, recursos financieros limitados, políticas de gobierno y legislación inadecuada.

Algunas recomendaciones para la correcta administración de residuos son:

- Se necesita una estrategia de administración de residuos sólidos integrada que incluya aspectos tales como reducción de residuos, reuso, reciclaje, recuperación de recursos y vertido adecuado.
- La clasificación de basuras correctamente desde los hogares hasta el vertedero facilitará su clasificación final y por ende la adición de valor.
- La logística inversa debe ser vista como una estrategia para optimizar las opciones disponibles para la gestión de residuos
- Se deben implementar tecnologías que ayuden a reducir la cantidad de residuos que llegan al vertedero.
- El compostaje de la materia biodegradable que constituye el más grande porcentaje de residuos generados es una opción que podría ser considerada.
- El compostaje podría ser posteriormente vendido como abono orgánico.
- La recuperación de energía puede ser otro aspecto para recuperar valor energético de los productos, especialmente los materiales no degradables.

*(Kinobe, Gebresenbet, Niwagaba & Vinneras, 2015).*

Los factores de los empaques que muestran alta sensibilidad considerando el potencial impacto ambiental son:

- El peso del empaque
- La frecuencia de reciclaje de empaques usados en caso de envases de un uso

- El contenido de material reciclado en las nuevas botellas
- La calidad de las rutas de reciclaje como los closed-loop, los open-loop, down-cycling o up-cycling.

Los siguientes parámetros son importantes para el relleno de botellas:

- El número de veces que se rellena
- La distancia de transporte desde quien rellena hasta el punto de venta
- La eficiencia energética de las botellas.

Es más costoso el transporte de material a reciclar de alto peso específico. Es preferible en estos casos que los centros de recolección estén cerca de los centros de desarme o de tratamiento. (*Simon, Ben Amor & Foldenyi, 2015*).

En general los estudios realizados apuntan al diseño de estrategias para la reducción del impacto ambiental ocasionado por los bienes post consumo así como la optimización de las mismas. Sin embargo únicamente Numata (2009) en su estudio “Economic analysis of deposit–refund systems with measures for mitigating negative impacts on suppliers” se enfocó en un aspecto que los demás autores tienden a pasar por alto y es el impacto que puede tener la adopción de un sistema de depósito reembolsable sobre los actores de la cadena de suministro, específicamente sobre los minoristas, y la evaluación de posibles políticas de compensación como método para garantizar el éxito de dicho sistema. Este aspecto es de vital importancia para el buen funcionamiento del sistema adoptado y se considera que es digno de profundización y ampliación.

### 3.3. Marco conceptual

*PET*: Tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilentereftalato o polietileno tereftalato (más conocido por sus siglas en inglés PET, polyethylene terephthalate) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles.

*Externalidad negativa*: Situación en la que las acciones de una persona física o jurídica causan un perjuicio sobre otra u otras.

*Aguas arriba*: hacia los proveedores.

*Aguas abajo*: hacia los mayoristas y minoristas hasta llegar al consumidor final.

*Closed-loop*: Hace referencia a las cadenas de suministro de circuito cerrado. En un modelo closed-loop la misma cadena que lleva el producto hasta el consumidor es la que se encarga de recogerlo.

*Open-loop*: Hace referencia a las cadenas de suministro de circuito abierto. En un modelo open-loop los actores que intervienen en el flujo inverso son diferentes a los del flujo directo y los productos no retornan al productor original.

*Downcycling*: El downcycling o infraciclado es el proceso de convertir materiales de desecho o productos inútiles en nuevos materiales o productos de menor calidad y funcionalidad reducida.

*Upcycling*: El "upcycling" o "supra-reciclaje" es el proceso de transformar un objeto sin uso o destinado a ser un residuo en otro de igual o mayor utilidad y valor.

## **4. Capítulo IV: Desarrollo Del Modelo De Simulación Genérico De La Logística Directa E Inversa Del Plástico PET Enfocado A La Mitigación De Impactos Negativos En Los Minoristas**

### **4.1. Modelo De Referencia**

El modelo desarrollado se basa en el estudio “Economic analysis of deposit–refund systems with measures for mitigating negative impacts on suppliers” (Numata, 2009) que considera los impactos negativos que ocasionan los sistemas de depósito reembolsable sobre los minoristas y las posibles políticas de mitigación de los mismos mencionadas a continuación:

- Los ingresos de las ventas de los envases post consumo vendidos al reciclador son de propiedad del minorista.
- El minorista recibe una comisión por parte del gobierno proporcional a los depósitos gestionados.
- Los depósitos no reclamados por los consumidores, es decir, aquellos correspondientes a los envases no devueltos son de propiedad del minorista siempre y cuando la externalidad negativa asociada a los envases no devueltos no supere el 50% de los depósitos totales.

Además el modelo de este artículo considera un impuesto que el gobierno les impone a los consumidores de los productos sujetos a depósito con el fin de crear un fondo que contribuya al sostenimiento del sistema.

En las figuras 8 y 9 se muestra el esquema del modelo contemplado en el estudio de Numata (2009) en caso que el minorista retenga los depósitos no reclamados y en caso que el gobierno los decomise:

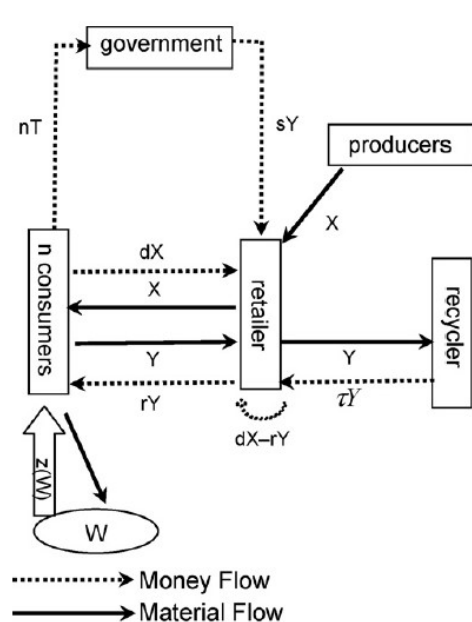


Figura 8. Modelo en caso que el minorista retenga los depósitos no reclamados. “Economic analysis of deposit–refund systems with measures for mitigating negative impacts on supplier” de D. Numata, 2009, *Resources, Conservation and Recycling*, 53, p. 199–207.

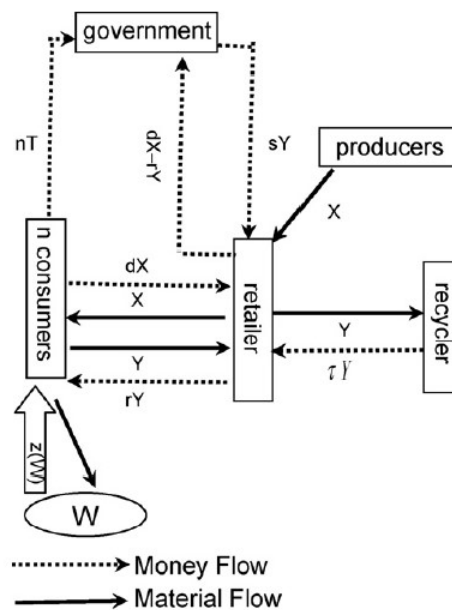


Figura 9. Modelo en caso que el gobierno decompone los depósitos no reclamados. “Economic analysis of deposit–refund systems with measures for mitigating negative impacts on supplier” de D. Numata, 2009, *Resources, Conservation and Recycling*, 53, p. 199–207.

Dónde:

$nT$ = Impuesto total aportado por los consumidores

$sY$ = Comisión total pagada al minorista

$dX$ = Total de depósitos recibidos por el minorista

$X$ = Consumo total de bebidas con envases sujetos a depósito

$Y$ = Total de envases vacíos retornados

$rY$ = Total de depósitos devueltos por el minorista a los consumidores

$\tau Y$ = Valor total de los envases vacíos vendidos al reciclador

$z(W)$ = Externalidad negativa asociada a los envases no devueltos

$W$ = Residuos

$dX-rY$ = Depósitos no reclamados por los minoristas

Los actores involucrados en la cadena de suministro de dicho estudio son:  $n$  consumidores, muchos productores, un minorista, el gobierno y un reciclador.

El modelo matemático que contempla el artículo objeto de estudio es el siguiente:

- En caso que el minorista conserve los depósitos no reclamados por los consumidores (denotado con el subíndice 21)

$$\max_{X_{21}} \pi_{21}(X_{21}) = [p_{21}X_{21} - C_X(X_{21})] + [(\tau - r + s)Y_{21} - C_Y(Y_{21})]$$

- En caso que el minorista no conserve los depósitos no reclamados por los consumidores (denotado con el subíndice 22)

$$\max_{X_{22}} \pi_{22}(X_{22}) = [(p_{22} - d)X_{22} - C_X(X_{22})] + [(\tau + s)Y_{22} - C_Y(Y_{22})]$$

Donde:

$X_{21/22}$ = Consumo total de productos sujetos a depósito

$p_{21/22}$ = Precio del producto sujeto a depósito incluyendo el valor del depósito

$C_X$ = Costo de producir y vender un producto sujetos a depósito

$\tau$ = Valor del envase vacío retornado

$r$ = Valor del depósito reembolsado al consumidor

$s$ = Valor de la comisión pagada al minorista por envase retornado

$Y_{21/22}$ = Total de envases vacíos retornados

$C_y$ = Costo de gestión de un envase retornado

$d$ = Valor del depósito de los productos sujetos a depósito reembolsable

## **4.2. Modelo Propuesto**

El modelo propuesto consiste en una cadena de suministro de bebidas envasadas en botellas PET con sistema de depósito reembolsable. Es importante aclarar que a pesar de ser un modelo genérico, se ha enmarcado en el contexto de la ciudad de Barranquilla para efectos de la consideración de distancias, población, precios, demanda, etc.

El artículo “On illegal activities in the California state beverage container deposit system” (Numata, 2010) fue la base para el cálculo de algunos de los datos de entrada, ya que como se mencionó en el apartado 2.4, el artículo en el cual se basa esta investigación es de carácter teórico y carece de dichos datos. Con el fin de mantener coherencia entre los datos de entrada y el contexto de la investigación, tales datos fueron calculados y no tomados tal cual como aparecen en el artículo, ya que el estudio de Numata (2010) fue realizado en el estado de California que cuenta con un área y una población mucho mayores y además un estilo de vida diferente a la ciudad de Barranquilla. Los datos que no se lograron conseguir en dicho artículo



fueron estimados con base en la experiencia laboral del autor de esta investigación en el sector del reciclaje.

Existe un fabricante que vende las bebidas a cuatro diferentes distribuidores y un reciclador que compra los envases vacíos que recuperan los distribuidores.

El sistema contempla dos tipos de envases: aquellos cuyo contenido es de medio litro y aquellos cuyo contenido es de un litro.

La capacidad de producción diaria de la fábrica es de 11086 bebidas (cantidad calculada con base en el estudio de Numata (2010)), teniendo una proporción del 65% para los envases de medio litro y el resto para los envases de un litro (proporción estimada a criterio del autor). Se debe tener en cuenta que el fabricante opera continuamente los 30 días del mes.

El fabricante dispone de vehículos propios para el reparto de las bebidas. Los días de reparto son martes y viernes de cada semana (frecuencia estimada a criterio del autor, dado que en este gremio el abastecimiento suele ser 2 veces a la semana) y los minoristas pueden realizar sus pedidos en cualquier otro día de la semana, es decir, lunes, miércoles, jueves, sábado y domingo.

El camión que realiza el reparto de las bebidas hace un recorrido en el cual llega a cada una de las instalaciones de los minoristas siempre y cuando estos hayan realizado pedido. Con el fin de simplificar el modelo, se ha supuesto que el vehículo destinado para repartir las bebidas tiene capacidad suficiente para entregar los pedidos de los 4 minoristas en un mismo viaje.

Cabe aclarar que el diseño del modelo de esta investigación como tal está basado en el estudio de Numata (2009), sin embargo difiere del mismo en los siguientes puntos:

- No se contempla el impuesto a los consumidores de productos sujetos a depósito

- Hay un solo fabricante y cuatro distribuidores

Lo anterior se hace con la finalidad de simplificar el modelo y evaluar el comportamiento de los indicadores de desempeño de un minorista a otro bajo diferentes condiciones teniendo en cuenta que este es el objetivo principal de la investigación.

En la tabla No. 4 se encuentra la información de las distancias existentes entre el fabricante y sus cuatro distribuidores (distancias calculadas a través de la herramienta “Google maps”), relacionando a su vez la velocidad media del vehículo durante el trayecto hasta cada distribuidor:

Tabla 4.

*Distancias entre fabricante y distribuidores*

	Distancia (km)	Velocidad (km/h)
Minorista 1	5,1	50
Minorista 2	9,7	50
Minorista 3	7,6	50
Minorista 4	9,6	50

Fuente: propia

El modelo asume que las distancias son fijas y que el camión, luego de conocer la velocidad asignada, viaja a esa misma velocidad a lo largo de todo el trayecto.

En la tabla No. 5 se encuentran las distancias entre cada minorista (distancias calculadas a través de la herramienta “Google maps”):

Tabla 5.

*Distancias entre minoristas*

Distancia en km	Minorista 1	Minorista 2	Minorista 3	Minorista 4
Minorista 1	N/A	11,3	5,2	7,6
Minorista 2	11,3	N/A	15,3	11,4
Minorista 3	5,2	15,3	N/A	4,7
Minorista 4	7,6	11,4	4,7	N/A

Fuente: propia

El deber de los minoristas es realizar la comercialización al cliente final para ambos productos, y así mismo gestionar la devolución de los envases vacíos a través de la implementación del sistema de depósito reembolsable que corresponde a \$150 para los envases de medio litro y \$300 para los envases de un litro (datos calculados con base en el estudio de Numata 2010). Los cuatro tienen horario de apertura a las 8:00 AM y la hora de cierre es a las 9:00 pm de lunes a domingo. En la tabla No. 6 se muestra la tasa media de llegada por cliente que sigue una distribución exponencial y varía de un minorista a otro (datos calculados con base en el estudio de Numata 2010):

Tabla 6.

*Tasa media de llegada de clientes*

	Tasa media de llegada por cliente (seg)
Minorista 1	12,7
Minorista 2	10,06
Minorista 3	16,04
Minorista 4	23,52

Fuente: propia

El modelo supone que cada cliente pide una sola unidad de un mismo producto, bajo la proporción igual a la producción de la fábrica: 65% de las veces solicitan envase de medio litro y el resto de las veces solicitan envases de un litro.

La tabla 7 muestra la cantidad mensual de bebidas vendidas en promedio por cada minorista (datos calculados con base en el estudio de Numata (2010)):

Tabla 7.

*Cantidades vendidas por minorista*

Concepto	Ventas mensuales							
	Minorista 1		Minorista 2		Minorista 3		Minorista 4	
	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml
Por tamaño	61369	33045	76711	41306	48218	25964	32876	17703
Total	94413		118017		74182		50579	

Fuente: propia

La tabla No. 8 muestra el inventario inicial estimado bajo el supuesto de que cada minorista se abastece para un número determinado de días (estimado a criterio del autor):

Tabla 8.

*Inventario inicial por minorista*

Minorista	Inventario Inicial		Observaciones
	500ml	1000ml	
Minorista 1	8182	4406	Equivalente a 4 días de ventas
Minorista 2	10228	5507	Equivalente a 4 días de ventas
Minorista 3	11251	6058	Equivalente a 7 días de ventas
Minorista 4	3288	1770	Equivalentes a 3 días de ventas

Fuente: propia

Todos los minoristas manejan un sistema de inventario por punto de re-orden del 30% de su inventario inicial (estimado a criterio del autor).

La tasa de recolección de envases vacíos es del 50% con respecto a las bebidas vendidas (referenciado del estudio de Numata (2010)); los envases vacíos recolectados por los minoristas son recogidos semanalmente por un reciclador que los compra a razón de \$500/kg (estimado a criterio del autor, teniendo en cuenta que el valor en el mercado del PET post consumo está en promedio en \$600 sin incluir recogida).

En la tabla No. 9 se encuentran las distancias desde la bodega del reciclador hasta las instalaciones de cada uno de los minoristas (distancias calculadas a través de la herramienta “Google maps”):

Tabla 9.

*Distancias entre reciclador y minoristas*

	Distancia (km)	Velocidad (km/h)
Minorista 1	2,8	50
Minorista 2	7,1	50
Minorista 3	7,6	50
Minorista 4	6,7	50

Fuente: propia

El modelo contempla las siguientes medidas de mitigación como lo hace el estudio de Numata (2009):

- Los ingresos por venta de envases vacíos al reciclador son de propiedad del minorista.
- El gobierno le reconoce al minorista una comisión por la labor realizada de acuerdo a los envases recogidos.
- El minorista podrá conservar los depósitos no reclamados, siempre y cuando la externalidad negativa asociada a los envases no recuperados no supere el 50% del total de

depósitos. En otras palabras, la condición es que los depósitos no reclamados no deberán ser más de la mitad de los depósitos totales ya que se ha estimado que el valor de la externalidad negativa es igual al valor del depósito.

A continuación se detallan las operaciones y procedimientos realizados para calcular los datos de entrada del modelo (en los casos que aplica).

Datos calculados con base en el estudio de Numata (2010):

- *Tasa de fabricación mensual:* Esta tasa fue calculada bajo la misma proporción de la demanda. De acuerdo al artículo de Numata (2010), en California la demanda de bebidas envasadas en envases PET es de 0.6 bebidas por persona por día. Teniendo en cuenta que por el estilo de vida de las personas en el estado de California la demanda de estas bebidas es mayor, este factor se redujo de 0.6 a 0.2 bebidas por persona por día.

A continuación se muestra de manera detallada la operación realizada:

*Calculo de la demanda:*

$$Demanda\ mensual = Población * 0,2 * 30\ días$$

$$Demanda\ mensual = 1.109.000\ habitantes * 0,2 * 30\ días$$

$$Demanda\ mensual = 6.654.000$$

Por otro lado, el artículo menciona que en California hay un total de 28.000 distribuidores, para proceder a calcular la cantidad de distribuidores para la ciudad de Barranquilla se hizo manteniendo la misma proporción de habitantes por distribuidor, para lo cual se tomó como referencia su población y la población del estado de California, lo cual arrojó como resultado un total de 800 distribuidores; se debe tener en cuenta que este total de distribuidores incluye tanto

tiendas como supermercados, sin embargo el modelo propuesto asume que los minoristas participantes son únicamente supermercados. A continuación se muestra de manera detallada la operación realizada:

*Cálculo de la cantidad de distribuidores:*

$$\text{Distribuidores en Barranquilla} = \frac{\text{Población Barranquilla} * \text{Distribuidores California}}{\text{Población California}}$$

$$\text{Distribuidores en Barranquilla} = \frac{1.109.000 * 28.000}{38.800.000}$$

$$\text{Distribuidores en Barranquilla} = 800$$

Para hallar la cantidad promedio de bebidas vendidas por cada distribuidor se dividió la demanda total de bebidas previamente calculada entre el número de distribuidores, así como se muestra a continuación:

*Bebidas vendidas por distribuidor mensual*

$$\text{Bebidas vendidas por distribuidor mensual} = \frac{\text{Demanda mensual}}{\text{Cantidad de distribuidores}}$$

$$\text{Bebidas vendidas por distribuidor mensual} = \frac{6.654.000}{800}$$

$$\text{Bebidas vendidas por distribuidor mensual} = 8.314$$

Finalmente para hallar la tasa de fabricación mensual se tomó la cantidad promedio de bebidas vendidas por distribuidor, se multiplicó por 4 que es la cantidad de minoristas que se contempla en el modelo propuesto y luego se multiplicó por 10 (estimando que un supermercado

puede vender incluso 10 veces más bebidas que una tienda y teniendo en cuenta que los minoristas participantes en el modelo propuesto son supermercados (Mejía, 2005)), y este valor se tomó como tasa de fabricación mensual del modelo. A continuación se muestra la operación realizada:

*Tasa de fabricación mensual:*

*Tasa de fabricación mensual*

*= Bebidas vendidas por distribuidor mensual*

*\* número de distribuidores participantes en el modelo \* 10*

*Tasa de fabricación mensual = 8.314 \* 4 \* 10*

*Tasa de fabricación mensual = 332.571*

- *Tasa de llegada de clientes:* Calculada teniendo en cuenta la cantidad de bebidas vendidas por minorista y su horario de atención. Dado que el modelo asume que cada cliente compra una bebida a la vez, entonces la cantidad de bebidas vendidas será igual a la cantidad de clientes que lleguen a comprar dentro del horario de atención de los minoristas. De esta forma puede calcularse cada cuanto llega un cliente a comprar una bebida.

*Tasa de llegada de clientes = Bebidas vendidas por unidad de tiempo*

*Bebidas vendidas por unidad de tiempo(minutos)*

$$= \frac{\text{Cantidad de bebidas vendidas mensuales}}{\text{días de atención por mes} * \text{horas de atención por día} * 60 \text{ minutos}}$$

- *Porcentaje de envases recuperados:* Para este caso se tomó el mismo porcentaje indicado por el artículo que es del 50% de los envases totales.



- *Valor del depósito de los envases:* En este caso se tomaron los valores indicados en el artículo y se pasaron a pesos colombianos.
- *Comisión pagada por el gobierno al minorista:* Se tomó el mismo porcentaje indicado en el artículo.

Los datos de entrada estimados por el autor son los siguientes:

- *Porcentaje de fabricación de envases por tamaño.*
- *Días de despacho.*
- *Punto de re-orden.*
- *Días de recogida del reciclador.*
- *Valor del almacenamiento:* El costo del almacenamiento ha sido calculado teniendo en cuenta que los envases PET son apilables, por tanto se considera el valor del arriendo mensual de la bodega del minorista proporcional en metros cúbicos. Se contemplan los siguientes parámetros que fueron obtenidos luego de investigar el costo promedio de almacenamiento de bodegas en la ciudad de Barranquilla:

- Costo del arriendo mensual proporcional a 1 metro cuadrado: \$10.000
- Altura estimada de las bodegas de los minoristas: 4 metros
- Costo proporcional a 1 metro cúbico:

$$\text{Costo de almacenamiento de } 1 \text{ m}^3 = \frac{\text{Costo de almacenamiento de } 1 \text{ m}^2}{\text{altura de la bodega en metros}}$$

$$\text{Costo de almacenamiento de } 1 \text{ m}^3 = \frac{\$10.000}{4}$$

$$\text{Costo de almacenamiento de } 1 \text{ m}^3 = \$2.500/\text{m}^3$$

- Costo proporcional a 1 centímetro cúbico:

$$\text{Costo de almacenamiento de } 1 \text{ cm}^3 = \frac{\text{Costo de almacenamiento de } 1 \text{ m}^3}{1.000.000 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Costo de almacenamiento de } 1 \text{ cm}^3 = \frac{\$2.500/\text{m}^3}{1.000.000 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Costo de almacenamiento de } 1 \text{ cm}^3 = \$0,0025/\text{cm}^3$$

Se estima que el volumen ocupado por 1 envase PET dentro de la bodega es igual al volumen como tal del envase multiplicado por 1,5.

Ejemplo:

$$\text{Volumen ocupado por envase de } 500\text{ml} = \text{volumen del envase} * 1,5$$

$$\text{Volumen ocupado por envase de } 500\text{ml} = 500\text{cm}^3 * 1,5$$

$$\text{Volumen ocupado por envase de } 500\text{ml} = 750 \text{ cm}^3$$

Lo anterior teniendo en cuenta que al momento de apilar los envases sin comprimir, no se aprovecha la totalidad del espacio sino que quedan espacios que se pierden entre uno y otro envase.

Por tanto, el cálculo del costo de almacenamiento de 1 envase de 500ml se haría de la siguiente forma:

$$\text{Costo de almacenamiento de 1 envase de } 500\text{ml}$$

$$= \text{Volumen ocupado en } \text{cm}^3 * \text{costo de almacenamiento po } \text{cm}^3$$

$$\text{Costo de almacenamiento de 1 envase de } 500\text{ml} = 750 \text{ cm}^3 * \$0,0025/\text{cm}^3$$

$$\text{Costo de almacenamiento de 1 envase de } 500\text{ml} = \$1,88$$

Para envases de 1000ml:

*Costo de almacenamiento de 1 envase de 1000ml*

$$= \text{Volumen ocupado en cm}^3 * \text{costo de almacenamiento por cm}^3$$

$$\text{Costo de almacenamiento de 1 envase de 1000ml} = 1500 \text{ cm}^3 * \$0,0025/\text{cm}^3$$

$$\text{Costo de almacenamiento de 1 envase de 1000ml} = \$3,75$$

Los resultados obtenidos anteriormente se multiplican por el inventario promedio de envases de cada minorista para determinar el costo total de almacenamiento en el que se está incurriendo. Cabe aclarar que los minoristas solo incurren en costos de almacenamiento correspondientes a los envases recuperados en 1 semana, pues el reciclador hace la recogida de dichos envases todos los lunes.

- *Precio de venta de los envases vacíos*
- *Externalidad negativa:* Para estimar el valor de la externalidad negativa, se asume que este es igual al valor del depósito de las bebidas participantes en el sistema, puesto que no se conoce el valor que representa el daño colateral asociado a arrojar un envase PET a la calle o a la basura y para determinarlo sería necesario realizar un estudio profundo específicamente para ello.

$$\text{Externalidad negativa de 1 envase PET} = \text{Valor del depósito del envase}$$

- *Distancias entre fabricante, distribuidores y reciclador:* Fueron estimadas con ayuda de la herramienta “Google maps”. Ya que el modelo está contextualizado en Barranquilla, se asumió que cada minorista era un determinado supermercado dentro de la ciudad, el fabricante se ubicó en una zona industrial y el reciclador se ubicó en la zona donde se concentra la mayor proporción de recicladores de plástico en Barranquilla; con estas referencias se hizo el cálculo de las distancias entre sí.

- *Inventario inicial*: Se estiman diferentes niveles de inventarios entre los minoristas para analizar su comportamiento durante la simulación.
- *Cantidad de pedido*: Viene dada por la diferencia entre el inventario inicial y el punto de re-orden.

En la tabla No. 10 se resume el escenario inicial del modelo simulado:

Tabla 10.

*Escenario No. 1: Escenario inicial*

Es el punto de partida. El diseño de este escenario, así como sus datos han sido estimados con base en estudios previos y en información obtenida por experiencia laboral en el sector.

Concepto	Fabricante		Minorista 1		Escenario 1 Minorista 2		Minorista 3		Minorista 4	
	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml
Tasa de fabricación mensual	219174	118017	X	X	X	X	X	X	X	X
Tasa de producción diaria	7306	3934	X	X	X	X	X	X	X	X
Días de despacho	martes y viernes		X	X	X	X	X	X	X	X
Tasa de llegada de clientes	X	X	1 cliente/12,7 seg		1 cliente/10,06 seg		1 cliente/16,04 seg		1 cliente/23,52 seg	
Inventario inicial	X	X	8182	4406	10228	5507	11251	6058	3288	1770
Punto de reorden	X	X	2455	1322	3068	1652	3375	1817	986	531
Cantidad de pedido	X	X	5728	3084	7160	3855	7876	4241	2301	1239
% de envases recogidos	X	X	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Días de recogida reciclador	X	X	Lunes							
Horario de atención	X	X	8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.	
Días de pedido	X	X	Lunes, miercoles, jueves, sabado y domingo							

Fuente: propia

#### 4.2.1. Escenarios de prueba.

Después de modelada la cadena de suministro, se proponen 5 escenarios alternativos diferentes los cuales son igualmente modelados en Arena, para analizar sus resultados y así mismo determinar cuáles serían las condiciones más favorables para los minoristas. Estos escenarios fueron diseñados considerando las entradas que a criterio del autor de esta

investigación podrían impactar positivamente el desempeño de la cadena de suministro (véase las tablas No. 11, 12, 13, 14 y 15).

Tabla 11.

*Escenario No. 2: Se aumentan los días de despacho por semana*

El fabricante aumenta los días de despacho de pedidos a 3 días a la semana. Los nuevos días de despacho serían los martes, jueves y sábados y por ende cambiarían los días de pedido a: lunes, miércoles, viernes y domingo.

Concepto	Escenario 2 - Se aumentan los días de despacho									
	Fabricante		Minorista 1		Minorista 2		Minorista 3		Minorista 4	
	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml
Tasa de fabricación mensual	219174	118017	X	X	X	X	X	X	X	X
Tasa de producción diaria	7306	3934	X	X	X	X	X	X	X	X
Días de despacho	martes, jueves y sábado		X	X	X	X	X	X	X	X
Tasa de llegada de clientes	X	X	1 cliente/12,7 seg		1 cliente/10,06 seg		1 cliente/16,04 seg		1 cliente/23,52 seg	
Inventario inicial	X	X	8182	4406	10228	5507	11251	6058	3288	1770
Punto de reorden	X	X	2455	1322	3068	1652	3375	1817	986	531
Cantidad de pedido	X	X	5728	3084	7160	3855	7876	4241	2301	1239
% de envases recogidos	X	X	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Días de recogida reciclador	X	X	Lunes							
Horario de atención	X	X	8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.	
Días de pedido	X	X	Lunes, miercoles, viernes v domingo							

Fuente: propia

Tabla 12.

*Escenario No. 3: Se aumenta el punto de re-orden*

El punto de re-orden de los minoristas pasa a ser un 45% de su inventario inicial; por tanto se ve afectada también su cantidad de pedido.

Concepto	Fabricante		Escenario 3 Se aumenta el punto de re-orden							
			Minorista 1		Minorista 2		Minorista 3		Minorista 4	
	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml
Tasa de fabricación mensual	219174	118017	X	X	X	X	X	X	X	X
Tasa de producción diaria	7306	3934	X	X	X	X	X	X	X	X
Días de despacho	martes y viernes		X	X	X	X	X	X	X	X
Tasa de llegada de clientes	X	X	1 cliente/12,7 seg		1 cliente/10,06 seg		1 cliente/16,04 seg		1 cliente/23,52 seg	
Inventario inicial	X	X	8182	4406	10228	5507	11251	6058	3288	1770
Punto de reorden	X	X	3682	1983	4603	2478	5063	2726	1479	797
Cantidad de pedido	X	X	4500	2423	5625	3029	6188	3332	1808	974
% de envases recogidos	X	X	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Días de recogida reciclador	X	X	Lunes							
Horario de atención	X	X	8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.	
Días de pedido	X	X	Lunes, miercoles, jueves, sabado y domingo							

Fuente: propia

Tabla 13.

*Escenario No. 4: Se aumenta la cantidad de pedido por minorista.*

Todos los minoristas se abastecen para 8 días de ventas, por tanto su cantidad de pedido será mayor, así mismo la cantidad correspondiente al punto de re-orden.

Concepto	Escenario 4 - Se aumenta la cantidad de pedido									
	Fabricante		Minorista 1		Minorista 2		Minorista 3		Minorista 4	
	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml
Tasa de fabricación mensual	219174	118017	X	X	X	X	X	X	X	X
Tasa de producción diaria	7306	3934	X	X	X	X	X	X	X	X
Días de despacho	martes y viernes		X	X	X	X	X	X	X	X
Tasa de llegada de clientes	X	X	1 cliente/12,7 seg		1 cliente/10,06 seg		1 cliente/16,04 seg		1 cliente/23,52 seg	
Inventario inicial	X	X	16365	8812	20456	11015	12858	6924	8767	4721
Punto de reorden	X	X	4909	2644	6137	3304	3857	2077	2630	1416
Cantidad de pedido	X	X	11456	6168	14319	7710	9001	4847	6137	3304
% de envases recogidos	X	X	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Días de recogida reciclador	X	X	Lunes							
Horario de atención	X	X	8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.	
Días de pedido	X	X	Lunes, miércoles, jueves, sábado y domingo							

Fuente: propia

Tabla 14.

*Escenario No. 5: Se aumenta la tasa de recolección de envases*

La tasa de recolección de envases vacíos aumenta a un 60% de las bebidas vendidas.

Concepto	Escenario 5 - Se aumenta la tasa de recolección									
	Fabricante		Minorista 1		Minorista 2		Minorista 3		Minorista 4	
	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml
Tasa de fabricación mensual	219174	118017	X	X	X	X	X	X	X	X
Tasa de producción diaria	7306	3934	X	X	X	X	X	X	X	X
Días de despacho	martes y viernes		X	X	X	X	X	X	X	X
Tasa de llegada de clientes	X	X	1 cliente/12,7 seg		1 cliente/10,06 seg		1 cliente/16,04 seg		1 cliente/23,52 seg	
Inventario inicial	X	X	8182	4406	10228	5507	11251	6058	3288	1770
Punto de reorden	X	X	2455	1322	3068	1652	3375	1817	986	531
Cantidad de pedido	X	X	5728	3084	7160	3855	7876	4241	2301	1239
% de envases recogidos	X	X	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Días de recogida reciclador	X	X	Lunes							
Horario de atención	X	X	8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.	
Días de pedido	X	X	Lunes, miércoles, jueves, sábado y domingo							

Fuente: propia

Tabla 15.

*Escenario No. 6: Se combinan los escenarios 2 y 4.*

En esta última alternativa propuesta se combinan las condiciones dadas en los escenarios 2 y 4, es decir, los despachos se realizan 3 veces a la semana y la cantidad de pedido por cada minorista aumenta. Este escenario fue propuesto teniendo en cuenta los resultados de los escenarios previamente modelados. Se observaron datos de interés como el nivel de servicio, el volumen de ventas, etc., que se destacaron positivamente bajo las condiciones contempladas en los escenarios No. 2 y No. 4.

Concepto	Escenario 6 - Se combinan los escenarios 2 y 4									
	Fabricante		Minorista 1		Minorista 2		Minorista 3		Minorista 4	
	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml	500ml	1000ml
Tasa de fabricación mensual	219174	118017	X	X	X	X	X	X	X	X
Tasa de producción diaria	7306	3934	X	X	X	X	X	X	X	X
Días de despacho	martes, jueves y sábado		X	X	X	X	X	X	X	X
Tasa de llegada de clientes	X	X	1 cliente/12,7 seg		1 cliente/10,06 seg		1 cliente/16,04 seg		1 cliente/23,52 seg	
Inventario inicial	X	X	16365	8812	20456	11015	12858	6924	8767	4721
Punto de reorden	X	X	4909	2644	6137	3304	3857	2077	2630	1416
Cantidad de pedido	X	X	11456	6168	14319	7710	9001	4847	6137	3304
% de envases recogidos	X	X	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Días de recogida reciclador	X	X	Lunes							
Horario de atención	X	X	8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.		8:00 a.m. - 9:00 p.m.	
Días de pedido	X	X	Lunes, miércoles, jueves, sábado y domingo							

Fuente: propia

Para la validación del modelo de la cadena de suministro inicial y de los diferentes escenarios alternativos, se utilizó el software Arena versión 14.0. Para el análisis de los resultados se tuvo en cuenta el informe arrojado por el software Arena, del cual se extrajeron los datos de interés y fueron plasmados en Excel para luego representarlos en gráficas que proporcionen una mejor ilustración del comportamiento del sistema.

Los indicadores de desempeño que se tuvieron en cuenta en el análisis son los siguientes:

- **Nivel de servicio.** Indica la probabilidad de no llegar a una situación de falta de existencias. Se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Nivel de servicio} = \frac{\text{Cantidad de bebidas vendidas}}{(\text{Cantidad de bebidas vendidas} + \text{cantidad de faltantes})}$$

- **Costo de almacenamiento.** Indica el costo de almacenamiento incurrido a lo largo de la simulación. Su cálculo ya fue explicado previamente.
- **Ingreso económico total.** Comprende la suma de los ingresos por venta de envases vacíos al reciclador, la comisión de manejo de envases pagada por el gobierno y los depósitos no reclamados por los consumidores en caso que los conserve el minorista.
- **Utilidad.** Indica la utilidad neta del minorista luego de restarle el costo del almacenamiento al ingreso económico total.
- **Bebidas vendidas.** Indica la cantidad de bebidas vendidas a lo largo de la simulación.
- **Envases recuperados.** Indica la cantidad de envases vacíos recuperados.
- **Ventas perdidas por faltantes.** Indica las ventas que se dejaron de hacer por falta de existencias.

El análisis se realizó por indicador y por minorista. Para el análisis por minorista se realizó una valoración de los resultados a través del método de media ponderada; se tomaron los indicadores más representativos: nivel de servicio, costo de almacenamiento, ingreso económico total y envases recuperados y a cada uno se le asignó una importancia relativa o ponderación como se muestra a continuación:

- Nivel de servicio: 30%
- Costo de almacenamiento: 5%. Se le asignó un mínimo porcentaje teniendo en cuenta los resultados arrojados que demuestran que este costo representa muy poco frente a los ingresos recibidos por el minorista.



- Ingreso económico total: 35%. Se le asignó la mayor importancia, dado que el modelo va enfocado a generar condiciones favorables para los minoristas.
- Envases recuperados: 30%

Para el cálculo de los puntajes dentro de la valoración final se tomaron los distintos valores de los indicadores en cada uno de los escenarios y se ubicaron en una escala del 0 al 1, siendo el mayor valor equivalente a 1 y el menor valor equivalente a 0; los valores intermedios fueron calculados con la siguiente fórmula matemática:

$$\frac{x - \text{menor valor}}{\text{mayor valor} - \text{menor valor}}$$

Finalmente el resultado de esta operación se multiplica por su respectiva ponderación para obtener su puntaje dentro de la tabla.

En el caso del nivel de servicio no es necesario aplicar la fórmula anterior pues ya viene dado en porcentaje y se multiplica directamente por su ponderación.

## 5. Capítulo V: Resultados De La Investigación

### 5.1. Resultados Por Indicador

- **Bebidas vendidas por cada uno de los minoristas**

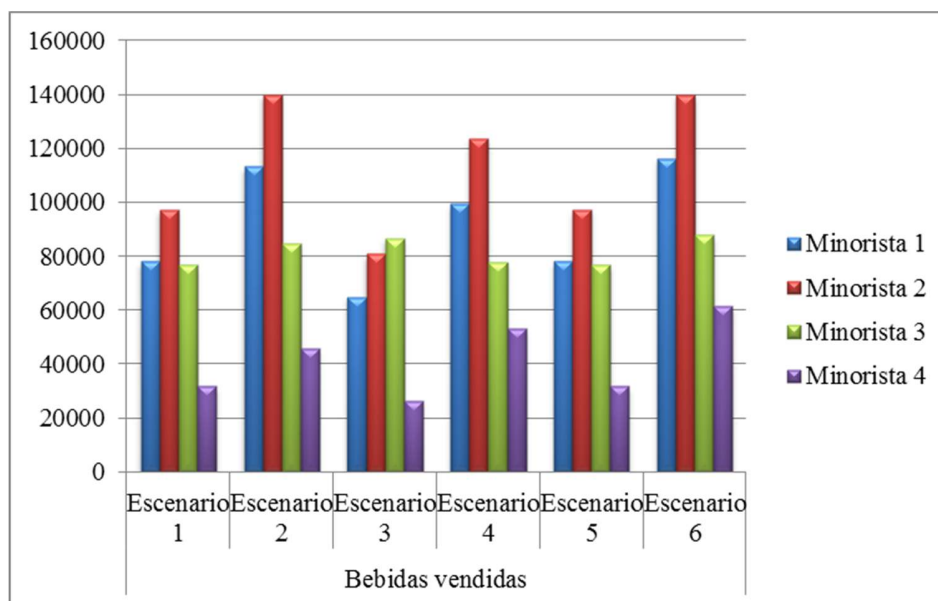


Figura 10. Bebidas vendidas por minorista. Fuente: propia

De acuerdo con la figura 10, se observa un impacto positivo de manera general en las ventas de cada uno de los minoristas bajo las condiciones dadas en los escenarios 2 y 4, los cuales contemplan un mayor número de despachos por semana y una cantidad mayor de pedido respectivamente. Lo anterior se debe a que en el escenario inicial el factor principal que afectaba las ventas ocasionando tantos faltantes era que los minoristas no mantenían la cantidad de inventario suficiente para satisfacer su demanda durante los días entre un despacho y otro. Al momento de aumentar los días de despacho por semana, los minoristas serán abastecidos con más frecuencia lo que conlleva a la disminución de faltantes; del mismo modo si se aumenta la cantidad de pedido que realiza cada uno de los minoristas, su inventario alcanzará para satisfacer

a más clientes mientras llega el próximo pedido. En consecuencia, el escenario No. 6 que combina estas dos condiciones anteriores refleja un desempeño aún mejor en este aspecto y es el que ilustra de manera más acertada el comportamiento de la demanda de bebidas para cada uno de los minoristas.

El incremento o disminución de las ventas afecta tanto al canal directo como el canal inverso de la siguiente manera:

- De forma directa el incremento de las ventas impacta positivamente al minorista, pues entre más bebidas venda, mayor será su utilidad.
  - De forma indirecta afecta al canal inverso ya que entre más bebidas sean vendidas, habrá mayor cantidad de envases objeto de depósito reembolsable, lo que bajo las políticas del modelo se traduce en una mayor probabilidad de ingresos adicionales para el minorista.
- **Envases recuperados por cada uno de los minoristas**

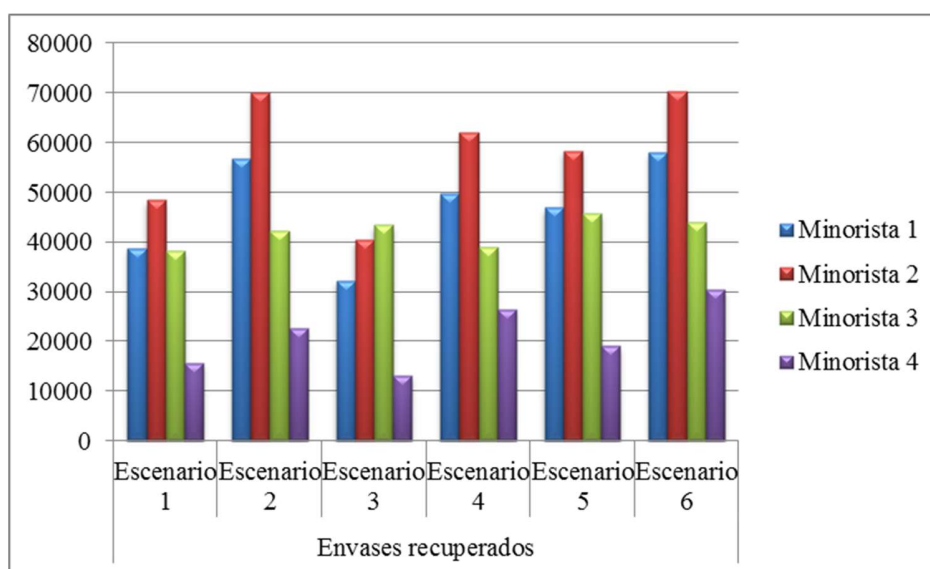


Figura 11. Envases recuperados por minorista. Fuente: propia

De acuerdo con la figura 11, el nivel de envases recuperados sigue el mismo comportamiento del volumen de ventas alcanzado por cada minorista, ya que para todos los escenarios independientemente de sus condiciones se ha manejado una tasa de recuperación del 50% del total de los envases, excepto para el escenario No. 5 el cual contempla un incremento de dicha tasa al 60% del total de los envases. La variación del nivel de recuperación de envases depende directamente del comportamiento de la población dadas ciertas condiciones, para este caso se ha estimado que con la implantación de un sistema de depósito reembolsable se logra una tasa promedio del 50%, y que podría ser incrementada por la participación proactiva de los propios minoristas ya que esto a su vez representaría para ellos un incremento en sus utilidades.

- **Ventas perdidas por unidades faltantes para cada minorista.**

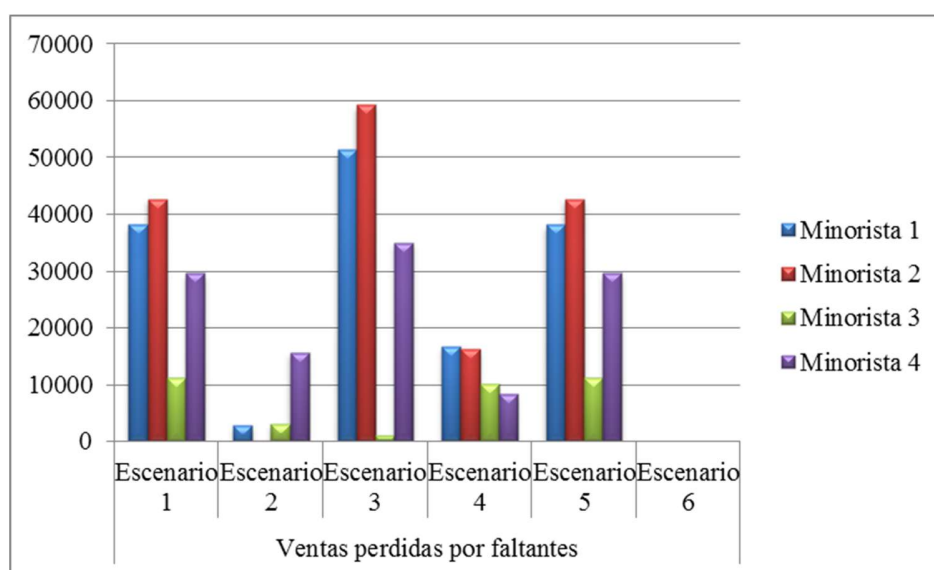


Figura 12. Ventas perdidas por faltantes por minorista. Fuente: propia

En la figura 12 se observa que los puntos de re-orden son muy bajos con respecto a la demanda y la frecuencia inicial de despachos del fabricante, lo que resulta en una gran cantidad de ventas perdidas por falta de existencias. Sin embargo, en el escenario No. 3 donde se

aumentan los puntos de re-orden los faltantes no se ven disminuidos sino que por el contrario aumentan, este comportamiento se explica por lo siguiente:

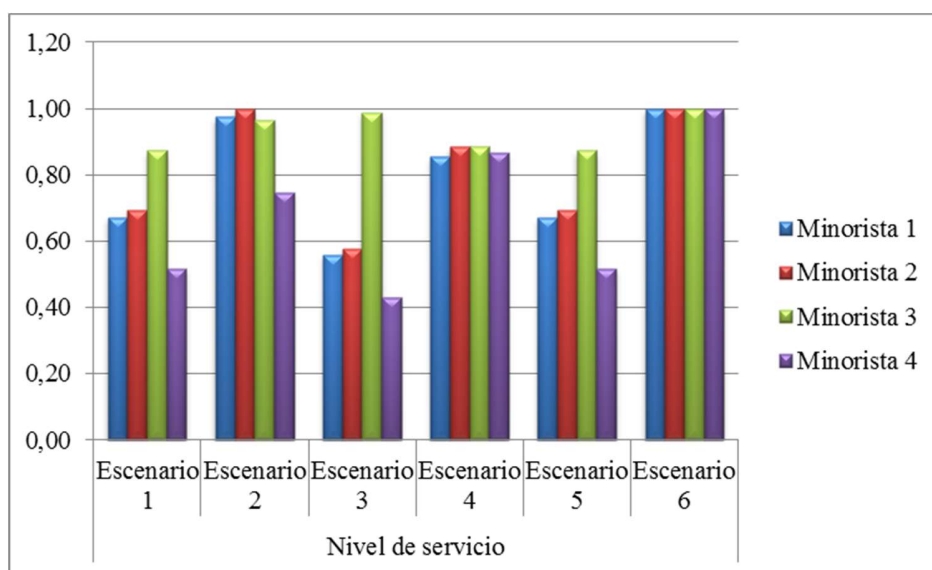
De acuerdo al sistema de inventario por punto de re-orden que se maneja en este modelo, cuando los minoristas llegan al 30% de su inventario inicial, realizan un pedido por la diferencia para completar nuevamente el stock máximo, es decir, un pedido por el 70% del inventario inicial. Sin embargo, se ha podido observar que este 30% no es suficiente para satisfacer la demanda hasta la próxima fecha de abastecimiento que es cada 3 o 4 días, ya que según el escenario inicial los despachos son 2 veces a la semana, lo que quiere decir que los minoristas están llegando a la próxima fecha de abastecimiento con inventario cero (0) y de ahí en adelante continúan con un nuevo inventario inicial de únicamente el 70% de la cantidad con la que iniciaron la primera vez, ocasionando así que los faltantes continúen a lo largo de la operación del sistema.

Al momento de aumentar el punto de re-orden de un 30% a un 45% la cantidad de pedido disminuirá pues la diferencia para llegar nuevamente al stock máximo sería el 55%. Se debe tener en cuenta que en este escenario las cantidades de pedido y la frecuencia de los despachos permanecen iguales al escenario inicial, los minoristas seguirán llegando a la próxima fecha de abastecimiento con inventario cero (0) pues el incremento del 15% en el punto de re-orden no es suficiente para cubrir la demanda insatisfecha; en consecuencia los minoristas continúan con un inventario aún menor, pues será del 55% de acuerdo al nuevo punto de re-orden lo que a su vez ocasiona el aumento de las ventas perdidas por falta de existencias.

De acuerdo con lo anterior se deduce que el aumento del punto de re-orden no es un cambio positivo sino se encuentra alineado con las cantidades de pedido, la demanda y demás factores

que influyen en el sistema. El punto de re-orden debe ser suficiente para satisfacer la demanda durante 4 días bajo el supuesto de que los despachos se realicen 2 días a la semana como lo plantea el escenario inicial.

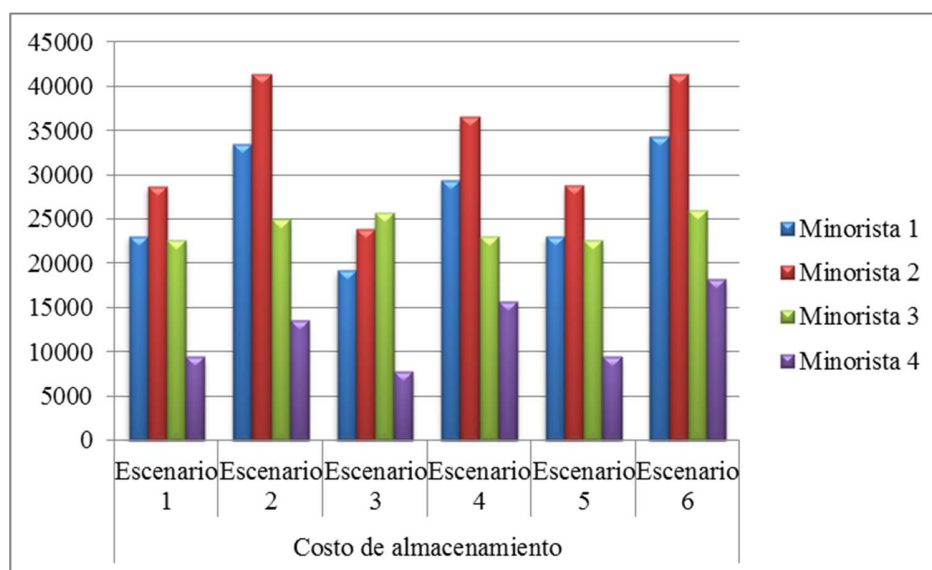
- **Nivel de servicio por minorista.**



*Figura 13.* Nivel de servicio por minorista. Fuente: propia

De acuerdo con la figura 13, el escenario No. 6 es el que refleja los mejores niveles de servicio para todos los minoristas, pues reúne las condiciones necesarias para mejorar los resultados objeto de dicho indicador. Así mismo, los escenarios 2 y 4 presentan conjuntamente niveles de servicio muy buenos.

- **Costo de almacenamiento de envases vacíos.**



*Figura 14. Costo de almacenamiento por minorista. Fuente: propia*

Según lo observado en la figura 14, a pesar de que un mayor número de envases vacíos recuperados se traduzca en un mayor costo de almacenamiento por el volumen ocupado por los mismos, este costo se vuelve prácticamente insignificante frente a los beneficios económicos que recibe el minorista por participar en el sistema de depósito reembolsable.

- **Ingreso económico total por minorista.**

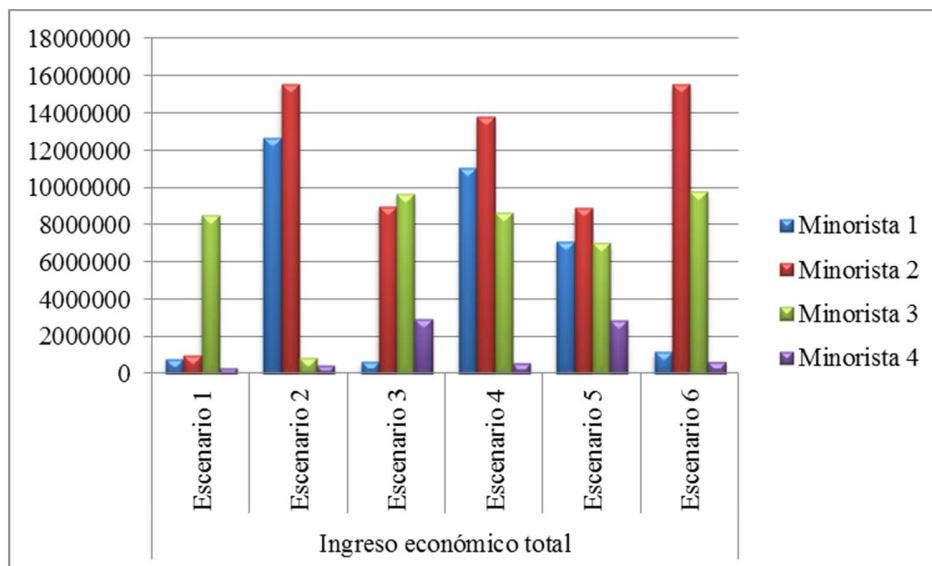


Figura 15. Ingreso económico total por minorista. Fuente: propia

El ingreso económico total está conformado por:

- Depósitos no reclamados
- Venta de envases vacíos al reciclador
- Comisión recibida por parte del gobierno por la gestión realizada

En la figura 15 se observan grandes diferencias en los resultados del ingreso económico total de un minorista a otro y de un escenario a otro, esto se debe a que el ingreso de mayor impacto es el correspondiente a los depósitos no reclamados, se debe tener en cuenta que este ingreso está sujeto a una condición que dice que si los depósitos no reclamados superan el 50% del total de los depósitos recibidos entonces serán decomisados por el gobierno, de lo contrario el minorista podrá conservarlos. Esta tasa de devolución de envases o depósitos no reclamados a su vez está sujeta a una probabilidad del 50%. El hecho de que ambos porcentajes coincidan hace que esta opción de ingreso sea bastante incierta, pues independientemente del escenario, el minorista



simplemente podrá o no recibirlo; salvo en el escenario 5 en el cual la tasa de recuperación de envases aumenta al 60% y en la mayoría de los casos el minorista logra conservar los depósitos no reclamados por los clientes. No obstante, las utilidades de los minoristas bajo las políticas de este modelo siempre son positivas.

- **Utilidad.**

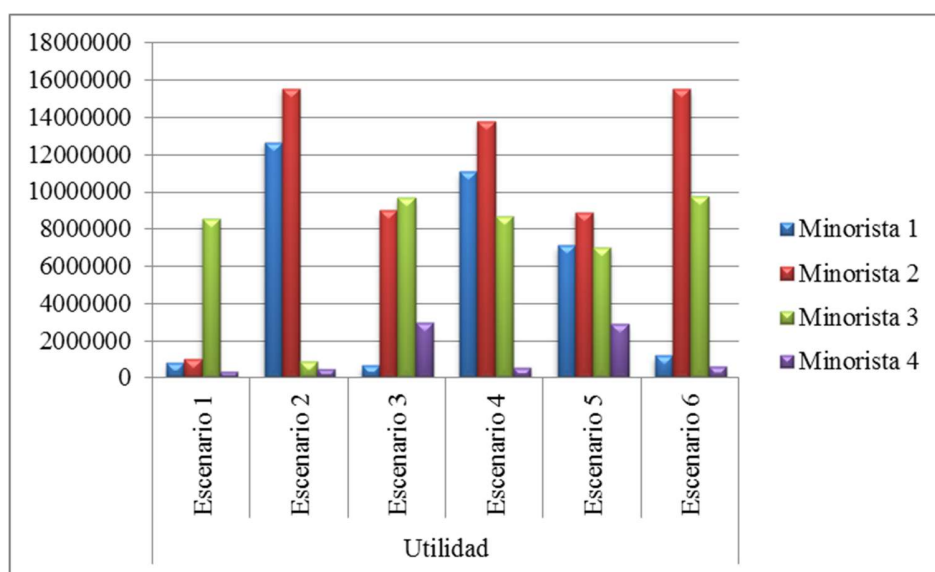


Figura 16. Utilidad por minorista. Fuente: propia

De acuerdo con lo reflejado en la figura 16, el comportamiento de las utilidades finales de los minoristas sigue la misma tendencia del ingreso económico total, pues a pesar de que aquí se le resta el valor del almacenamiento de los envases vacíos, como se mencionó anteriormente este costo resulta ser insignificante comparado con los ingresos y por lo tanto su afectación es mínima.

## 5.2. Resultados Por Minorista

Valoración de resultados independientes por minorista en los diferentes escenarios

Tabla 16.

*Valoración de resultados minorista 1*

Concepto	Minorista 1					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
Nivel de servicio	0,20	0,29	0,17	0,26	0,20	0,30
Costo de almacenamiento	0,04	0,00	0,05	0,02	0,04	0,00
Ingreso económico total	0,004	0,35	0,00	0,30	0,19	0,02
Envases recuperados	0,075	0,28	0,00	0,20	0,17	0,3
Valoración total	0,32	0,93	0,22	0,78	0,60	0,62

Fuente: propia

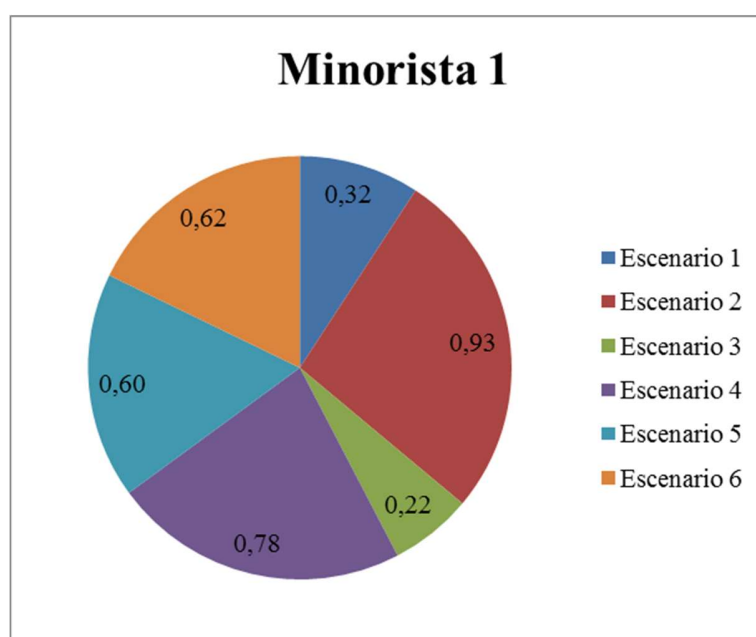


Figura 17. Valoración de resultados minorista 1. Fuente: propia

De acuerdo a los datos reflejados en la tabla No. 16 y la gráfica No. 17, se observa que para el caso particular del minorista 1, los escenarios en los cuales obtuvo mejores resultados fueron el No. 2 donde se aumentaron los días de despacho por semana y el No. 4 donde se aumentaron las

cantidades de pedido. Esto se debe a que en estos dos escenarios se hicieron cambios determinantes para el buen desempeño de la cadena de suministro y se resume en garantizar la existencia de inventarios para satisfacer la demanda. No obstante, se observa que en el escenario No. 6 que combina las condiciones de estos 2 escenarios anteriores, el resultado no fue tan bueno; lo cual se explica por el decomiso por parte del gobierno de los depósitos no reclamados por los consumidores que es el ingreso económico más representativo para los minoristas pero por estar sujeto a una probabilidad aun en un escenario con condiciones muy buenas como este puede no recibirlo.

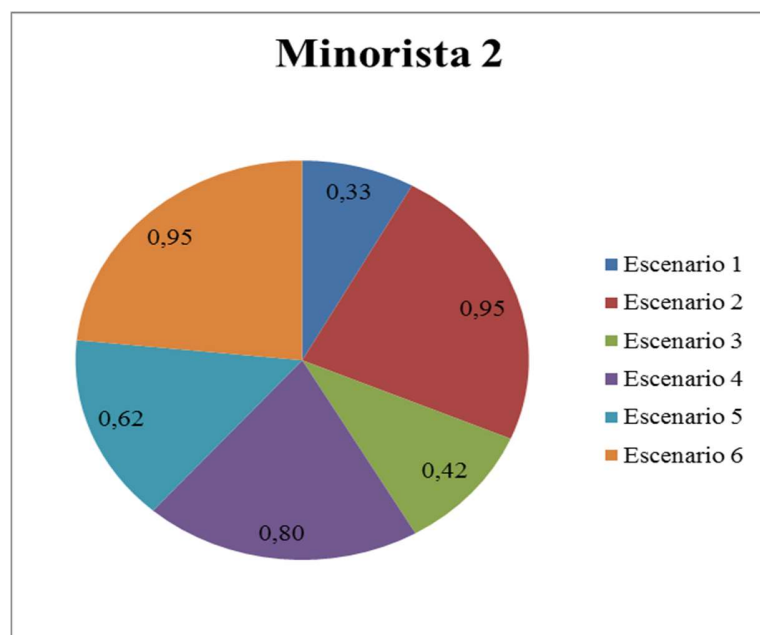
Por otra parte, el escenario No. 3 donde se aumentan los puntos de re-orden fue el que arrojó el menor puntaje, esto se le atribuye principalmente a la situación desencadenada en dicho escenario explicada en el apartado anterior de análisis por indicador y al no pago de depósitos no reclamados.

Tabla 17.

*Valoración de resultados minorista 2*

Concepto	Minorista 2					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
Nivel de servicio	0,21	0,30	0,17	0,26	0,21	0,30
Costo de almacenamiento	0,04	0,0001	0,05	0,01	0,04	0,00
Ingreso económico total	0,00	0,35	0,19	0,31	0,19	0,35
Envases recuperados	0,081	0,30	0,00	0,22	0,18	0,3
Valoración total	0,33	0,95	0,42	0,80	0,62	0,95

Fuente: propia



*Figura 18.* Valoración de resultados minorista 2. Fuente: propia

Con base en los datos observados en la tabla No. 17 y la gráfica No. 18, se puede decir que los resultados para el minorista 2 fueron similares a los del minorista 1, con la diferencia que el puntaje correspondiente al escenario No. 6 muestra mucha más coherencia con los resultados de los escenarios No. 2 y 4 ya que en este caso los depósitos no reclamados por los clientes fueron conservados por el minorista por haber alcanzado el nivel de recuperación de envases mínimo para tal efecto.

Tabla 18.

*Valoración de resultados minorista 3*

Concepto	Minorista 3					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
Nivel de servicio	0,26	0,29	0,30	0,27	0,26	0,30
Costo de almacenamiento	0,05	0,01	0,00	0,04	0,05	0,00
Ingreso económico total	0,30	0,00	0,35	0,31	0,24	0,35
Envases recuperados	0,00	0,16	0,20	0,027	0,30	0,23
Valoración total	0,61	0,46	0,85	0,64	0,85	0,88

Fuente: propia

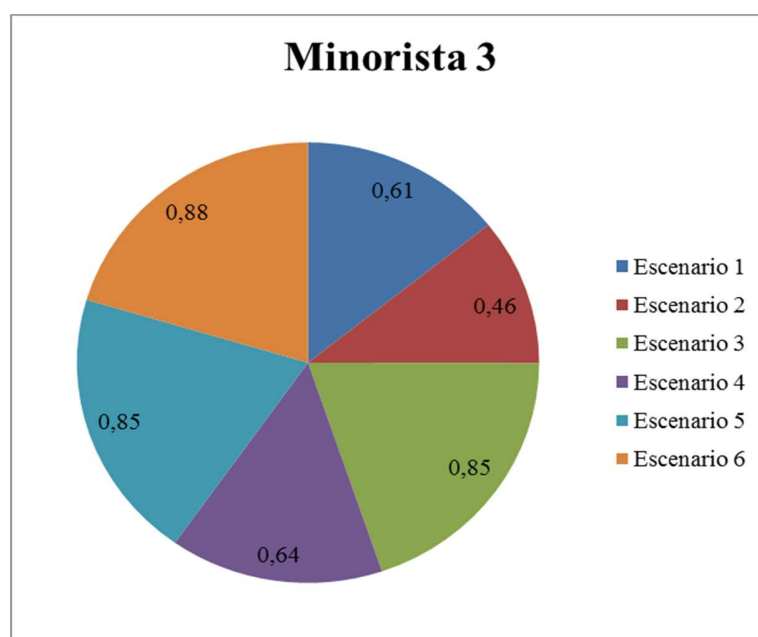


Figura 19. Valoración de resultados minorista 3. Fuente: propia

De acuerdo con los datos observados en la tabla No. 18 y la gráfica No. 19, el minorista 3 obtuvo mejores resultados en el escenario No. 6, seguido por los escenarios No. 3 donde se aumentó el punto de re-orden y el escenario No. 5 donde se aumentó la tasa de recuperación de envases usados. En este caso particular se observa que el aumento en el punto de re-orden tuvo

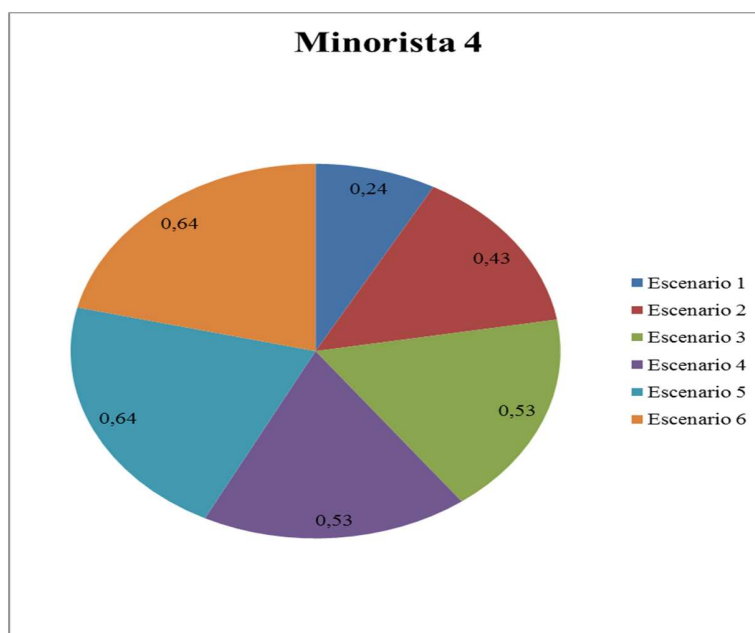
un impacto positivo en la cadena de suministro de este minorista, lo que se debe a que el nivel de inventarios manejado desde el escenario inicial es relativamente bueno y mucho mayor al de los demás minoristas. Se puede deducir entonces que los faltantes presentados en el escenario inicial fueron causados principalmente por un punto de re-orden bajo y en menor proporción por el nivel de inventario manejado. Las condiciones dadas en el escenario No. 3 permitieron alinear en una gran proporción el nivel de inventarios con el punto de re-orden desencadenando así un nivel de servicio mucho más alto. En cuanto al escenario No. 5, se le atribuye su buen resultado a la estabilidad que le proporciona al ingreso económico del minorista una alta tasa de recolección de envases usados, ya que en este caso la tasa se incrementó al 60% superando significativamente el nivel mínimo requerido por el gobierno para poder permitirle al minorista que conserve los depósitos no reclamados.

Tabla 19.

*Valoración de resultados minorista 4*

Concepto	Minorista 4					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
Nivel de servicio	0,16	0,22	0,13	0,26	0,16	0,30
Costo de almacenamiento	0,04	0,02	0,05	0,01	0,04	0,00
Ingreso económico total	0,00	0,02	0,35	0,03	0,34	0,04
Envases recuperados	0,04	0,17	0,00	0,23	0,10	0,30
Valoración total	0,24	0,43	0,53	0,53	0,64	0,64

Fuente: propia



*Figura 20. Valoración de resultados minorista 4. Fuente: propia*

De acuerdo a los datos observados en la tabla No. 19 y la gráfica No. 20, el minorista 4 no alcanzó puntajes muy altos en los diferentes escenarios, pues en la mayoría de ellos no alcanzó el nivel de recuperación de envases que le permitiera retener los depósitos no reclamados siendo este el ingreso de mayor impacto en la valoración realizada. Sin embargo esto no se considera como una señal de que el sistema adoptado no sea beneficioso para él, sino que sus ingresos económicos fueron menores; e independientemente de esto el mejor resultado se obtuvo en los escenarios No. 5 al aumentar la tasa de recolección y el escenario No. 6 al combinar las condiciones de los escenarios No. 2 y No. 4.

Hay una marcada tendencia entre todos los minoristas a alcanzar puntajes de valoración más altos en aquellos escenarios donde se involucra el aumento en la frecuencia de los despachos por parte del fabricante, puesto que así se reducen bastante los faltantes y en consecuencia tanto el

flujo directo como el inverso son afectados positivamente beneficiando a toda la cadena de suministro.

El escenario No. 4 que consiste en aumentar la cantidad de pedido también ha arrojado resultados muy positivos y de acuerdo al análisis realizado se puede determinar que es incluso más viable para los minoristas, ya que la decisión de su implementación depende únicamente de ellos. Bajo este escenario los minoristas pueden tranquilamente incurrir en mayores costos de almacenamiento por mantener inventarios más altos pues el beneficio asociado es mucho mayor.

Casos como los de los minoristas 1, 2 y 4 que inicialmente manejaban inventarios particularmente bajos con respecto a su demanda, permiten apreciar el impacto positivo causado por el aumento de las cantidades de sus pedidos.

Es importante destacar que por cada bebida vendida objeto de depósito reembolsable, el minorista tiene 3 diferentes opciones de ingreso económico que incluso puede recibir simultáneamente.

Cabe resaltar que la buena gestión de la recuperación de envases es de suma importancia para los minoristas, ya que entre más envases vacíos recuperen mayor será la probabilidad de recibir ingresos adicionales tanto por la comisión recibida por parte del gobierno, la venta al reciclador y el margen mínimo de recolección que deben alcanzar el cual es del 50% para poder conservar los depósitos no reclamados. Lo anterior se ve reflejado en el escenario No. 5 en el cual la tasa de recolección es mayor y el beneficio económico en los minoristas se vuelve constante.



## **6. Capítulo VI: Conclusiones Y Trabajos Futuros**

Como resultado de la investigación expuesta, se puede concluir que la adopción de políticas de mitigación de impactos negativos sobre los minoristas ante un sistema de depósitos reembolsable resulta ser un gran incentivo para la participación en el mismo ya que los beneficios económicos son significativos incluso bajo diferentes escenarios.

La adopción de este tipo de políticas facilita en gran manera el desarrollo de la logística por lo menos en su punto más crítico que es la estrategia de recolección, ya que si los minoristas se involucran activamente en el sistema bastará con garantizar el adecuado funcionamiento de la logística directa para que a su vez el canal inverso se vea beneficiado y los actores de la cadena puedan sacar el mayor provecho de dicho sistema.

Se deben tener en cuenta específicamente factores como la demanda, la frecuencia de despachos, la cantidad de pedidos y el nivel de inventarios que son los que mayor impacto generan sobre la operación de la cadena de suministros; dichos factores deben estar alineados y enfocados hacia un mismo objetivo para asegurar el flujo continuo de los canales directo e inverso.

Por otra parte, se observó que la recuperación de envases vacíos es una variable que afecta de manera directa el flujo inverso de la cadena de suministro y que depende exclusivamente del minorista el esfuerzo que quiera invertirle a esta labor. No obstante, bajo las condiciones planteadas por el modelo, esta labor dejaría de ser tediosa para convertirse en una oportunidad de recibir ingresos adicionales a su labor comercial, por lo que no sería difícil para un minorista decidir su participación en el sistema o no.

Este estudio puede ser utilizado como punto de partida para profundizar en aspectos como: el caso en que los clientes compren más de un envase a la vez, así mismo el caso en que los clientes decidan retornar envases desechados por otros consumidores.

Por último, el estudio podría extenderse a aspectos como el transporte en cuanto a la capacidad de los vehículos tanto del fabricante como del reciclador, las cantidades óptimas de envases vacíos a ser transportados por el reciclador y la posibilidad de transportar los envases previamente comprimidos.

## 7. Referencias

- Abdulrahman, M.D., Gunasekaran, A., & Subramanian, N. (2014). Critical barriers in implementing reverse logistics in the Chinese manufacturing sectors. *Int. J. Production Economics*, 147, 460–471.
- Avella Guzmán, O.R. (2005). Empaques, envases y embalajes: una propuesta normativa. *Tecnogestión*, 11(1), 41-50.
- Cardoso, S.R., Barbosa-Póvoa, A.P.F.D., & Relvas S. (2013). Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 226, 436–451.
- Coelho, T.M., Castro, R., & Gobbo, J.A. (2011). PET containers in Brazil: Opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 291–299.
- Dace, E. Pakere, I., & Blumberga, D. (2013). Evaluation of economic aspects of the deposit-refund system for packaging in Latvia. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 24(3), 311 – 329.
- Díaz, A., Álvarez, M.J., y González, P. (2004). La logística inversa. In Mc Graw Hill (Eds.), *Logística Inversa y Medio Ambiente* (pp 43-67). Madrid, España: Mc Graw Hill.
- González-Benito, J., & González-Benito, O. (2006). The role of stakeholder pressure and managerial values in the implementation of environmental logistics practices. *International Journal of Production Research*, 44(7), 1353–1373.

- Jayant, A., Gupta, P., & Garg, S.K. (2014). Simulation Modelling and Analysis of Network Design for Closed-Loop Supply Chain: A Case Study of Battery Industry. *Procedia Engineering*, 97, 2213 – 2221.
- Kara, S., Rugrungruang, F., & Kaebernick, H. (2007). Simulation modelling of reverse logistics networks. *Int. J. Production Economics*, 106, 61–69.
- Kinobe, J.R., Gebresenbet, G., Niwagaba, C.B., & Vinneras, B. (2015). Reverse logistics system and recycling potential at a landfill: A case study from Kampala City. *Waste Management*, 42, 82–92.
- Kulshreshtha, P., & Sarangi, S. (2001). No return, no refund: an analysis of deposit-refund systems. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 46, 379–394.
- Lavee, D. (2010). A cost-benefit analysis of a deposit–refund program for beverage containers in Israel. *Waste Management*, 30, 338–345.
- Matar Mohamad, N., & Cory Searcy, C. (2014). A reverse logistics inventory model for plastic bottles. *The International Journal of Logistics Management*, 25(2), 315 – 333.
- Mejía Tovar, E.Y. (2005). Estudio para el montaje de un supermercado especializado en ventas de productos de consumo masivo, en la ciudadela El Recreo (tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá D.C., Colombia.
- Numata, D. (2009). Economic analysis of deposit–refund systems with measures for mitigating negative impacts on suppliers. *Resources, Conservation and Recycling*, 53, 199–207.
- Numata, D. (2010). On illegal activities in the California state beverage container deposit system. *J Mater Cycles Waste Manag*, 12, 314–320.

- Parish, D. (2009). The 1973 – 1975 Energy Crisis and Its Impact on Transport. Royal Automobile Club Foundation for Motoring, (09/107). Recuperado desde: [http://www.racfoundation.org/assets/rac\\_foundation/content/downloadables/energy%20crisis%20-%20parish%20-%20161009%20-%20report.pdf](http://www.racfoundation.org/assets/rac_foundation/content/downloadables/energy%20crisis%20-%20parish%20-%20161009%20-%20report.pdf)
- Quoc Dat, L., Truc Linh, D.T., Chou, S., & Yu, V.F. (2012). Optimizing reverse logistic costs for recycling end-of-life electrical and electronic products. *Expert Systems with Applications*, 39, 6380–6387.
- Ramezani, M., Bashiri, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 328–344.
- Ripa, J. (2016, agosto 11). ¿Qué se degrada antes, un chicle o una colilla?. Madrid, España: El país – Espacio Eco. Recuperado de: [http://economia.elpais.com/economia/2016/08/02/actualidad/1470137688\\_788306.html](http://economia.elpais.com/economia/2016/08/02/actualidad/1470137688_788306.html).
- Shih, L. (2001). Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 32, 55–72.
- Simon, B., Ben Amor, M., & Foldényi, R. (2016). Life cycle impact assessment of beverage packaging systems: focus on the collection of post-consumer bottles. *Journal of Cleaner Production*, 112, 238-248.
- Villareal, A. (2016, diciembre 13). Suecia recicla tanto que se ha quedado sin basura. Madrid, España: El Español. Recuperado de: [http://www.elspanol.com/ciencia/ecologia/20161212/177732604\\_0.html](http://www.elspanol.com/ciencia/ecologia/20161212/177732604_0.html).

Wojanowski, R., Verter, V., & Boyaci, T. (2007). Retail-collection network design under deposit-refund. *Computers & Operations Research*, 34, 324–345.

## 8. Bibliografía

- Agrawal, S., Singh, R.K., & Murtaza, Q. (2015). A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 76–92.
- Azadivar, F., & Ordoobadi, S. (2012). Decision rules for recycling returned products. *International Journal of Sustainable Engineering*, 5(3), 208-219.
- Bing, X., Bloemhof-Ruwaard, J., Chaabane, A., & Van Der Vorst, J. (2015). Global reverse supply chain redesign for household plastic waste under the emission trading scheme. *Journal of Cleaner Production*, 103, 28-39.
- Chen, Y.T., Chan, F.T.S., & Chung, S.H. (2015). An integrated closed-loop supply chain model with location allocation problem and product recycling decisions. *International Journal of Production Research*, 53(10), 3120-3140.
- Flórez Calderón, L.A., Toro Ocampo, E.M., & Granada Echeverry, M. (2012). Diseño de redes de logística inversa: una revisión del estado del arte y aplicación práctica. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(2), 153 – 177.
- Kelton, W. D., Sadowski, R.P., y Sturrock, D. T. (2008). Simulación con software Arena. Ciudad de México, D.F.; México: Mc Graw Hill.
- Kuczenski, B., & Geyer, R. (2013). PET bottle reverse logistics—environmental performance of California’s CRV program. *Int J Life Cycle Assess*, 18, 456–471.
- Pérez, A., Rodríguez, M.A., y Sabria, F. (2003). Logística Inversa. Barcelona, España: Logís Book.

- Pires, A., Martinho, G., & Chang, N. (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, 92, 1033 - 1050.
- Ríos Insúa, D., Ríos Insúa, S., Martín Jiménez, J., y Jiménez Martín, A. (2009). Simulación métodos y aplicaciones. Ciudad de México, D.F., México: Alfaomega Ra-Ma.
- Sheriff, K.M.M., Nachiappan, S., & Min, H. (2014). Combined location and routing problems for designing the quality dependent and multiproduct reverse logistics network. *Journal of the Operational Research Society*, 65, 873–887.